

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM BIODIGESTOR DE FLUXO
TUBULAR: ESTUDO DE CASO DO MODELO IMPLANTADO NA ETEC
“ORLANDO QUAGLIATO” EM SANTA CRUZ DO RIO PARDO, SP.**

JOSÉ EDER PEREIRA DA SILVA

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

BOTUCATU – SP
Março/2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM BIODIGESTOR DE FLUXO
TUBULAR: ESTUDO DE CASO DO MODELO IMPLANTADO NA ETEC
“ORLANDO QUAGLIATO” EM SANTA CRUZ DO RIO PARDO, SP.**

JOSÉ EDER PEREIRA DA SILVA

Orientador: Prof. Dr. Jorge de Lucas Júnior

Dissertação apresentada a Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Campus de Botucatu, para a obtenção do
título de Mestre em Agronomia (Energia
na Agricultura)

Botucatu – SP
Março/2016

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

S586a Silva, José Eder Pereira da, 1965-
Avaliação técnica e econômica de um biodigestor de
fluxo tubular: estudo de caso do modelo implantado na
ETEC "Orlando Quagliato" em Santa Cruz Do Rio Pardo, SP
/ José Eder Pereira da Silva. - Botucatu : [s.n.], 2016
ix, 58 f. : fots. color., grafs. color., ils. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2016
Orientador: Jorge de Lucas Júnior
Inclui bibliografia

1. Biofertilizantes. 2. Biogás. 3. Digestão anaeróbia. 4. Suíno - Esterco. I. Lucas Júnior, Jorge de. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM BIODIGESTOR DE FLUXO TUBULAR: ESTUDO DE CASO DO MODELO IMPLANTADO NA ETEC "ORLANDO QUAGLIATO" EM SANTA CRUZ DO RIO PARDO, SP

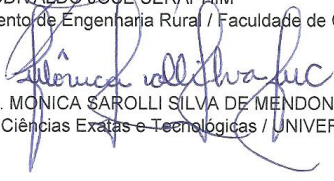
AUTOR: JOSE EDER PEREIRA DA SILVA

ORIENTADOR: JORGE DE LUCAS JUNIOR

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JORGE DE LUCAS JUNIOR
Dep de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. ODIVALDO JOSÉ SERAPHIM
Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP


Profa. Dra. MONICA SAROLLI SILVA DE MENDONÇA COSTA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas / UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ

Botucatu, 24 de março de 2016

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado a minha esposa
Selma Fátima e aos meus filhos **Ana Carolina** e
João Matheus, as minhas principais razões
para persistir e prosseguir.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me dado à vida e saúde para realização deste trabalho;

Aos meus pais Jose “Miguel” e Benedita “Dona Tita” (in memorian), por tudo que me ensinaram, pelo incondicional amor que sempre me deram;

Aos meus amigos e familiares pela amizade e felicidade que sempre me proporcionaram;

Ao meu orientador prof.Dr. Jorge de Lucas Junior, pela amizade, ensinamentos e principalmente por acreditar em mim, meu sincero agradecimento será por toda a minha vida;

A diretora da ETEC Orlando Quagliato, professora Leni de Fatima Dario de Oliveira, por disponibilizar as dependências da escola, bem como, laboratórios para realização dos trabalhos e análises;

Aos funcionários e alunos da ETEC Orlando Quagliato que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho;

Ao Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza”, pela dispensa de minhas atividades docentes permitindo com isso a realização deste trabalho;

A todos os docentes das disciplinas cursadas no programa;

As funcionárias da Seção de Pós-Graduação, que sempre me atenderam com presteza e prontidão;

À Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Campus de Botucatu, e a coordenação do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Energia na Agricultura;

A todos os funcionários da biblioteca Prof. Paulo de Carvalho Mattos.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar.

Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.

Madre Teresa de Calcutá

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	IX
RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	3
1INTRODUÇÃO.....	5
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	7
2.1 História dos biodigestores.....	7
2.2 Definição de biodigestores.....	8
2.3 Modelos de biodigestores.....	10
2.3.1 Modelo Indiano.....	10
2.3.2 Modelo Chinês.....	12
2.3.3 Fluxo Tubular ou canadense.....	13
2.4 Biodigestão anaeróbia.....	16
2.5 Fatores que influenciam a atividade anaeróbia.....	18
2.5.1 A Inexistência do Ar.....	18
2.5.2 A Temperatura Ideal.....	18
2.5.3 Nutrientes.....	19
2.5.4 Teor de água.....	19
2.6 Biogás.....	20
2.7 Biofertilizante.....	20
2.8 Impacto ambiental dos resíduos.....	22
2.9 Viabilidade econômica para implantação de biodigestores.....	23
2.10 Técnicas de Análise de Investimentos.....	24
2.10.1 Valor Presente Líquido (VPL).....	24
2.10.2 Taxa Interna de Retorno (TIR).....	25
2.10.3 Período de Recuperação do Investimento (Payback).....	26
2.10.4 Ponto de Equilíbrio.....	26
3 MATERIAIS E METODOS.....	28
3.1 Dejetos humanos para o processo.....	30

3.2 Dejetos suínos para o processo.....	31
3.3 Determinações microbiológicas.....	32
3.3.1 Salmonella sp.....	32
3.3.2 Coliformes Fecais e Totais.....	32
3.3.3 Ovos de Helminthos.....	33
3.3.4 Protozoários.....	33
3.4 Determinações Físicas.....	34
3.4.1 Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	34
3.4.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).....	34
3.5 Análise química de nutrientes minerais.....	34
3.6 Estimativa da produção teórica de biogás.....	35
3.7 Avaliação de investimentos.....	35
3.7.1 Valor presente líquido (VPL).....	35
3.7.2 Taxa Interna de Retorno (TIR).....	35
3.7.3 Período de recuperação do investimento (Payback).....	36
3.7.4 Ponto de Equilíbrio.....	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1 Análises físicas e biológicas.....	37
4.2 Produção e qualidade do biofertilizante.....	38
4.3 Valor dos nutrientes minerais.....	41
4.4 Estimativa da produção de biogás.....	42
4.5 Custos de implantação do sistema.....	44
4.6 Custos anuais do sistema.....	45
4.7 Análise Econômica.....	46
5 CONCLUSÃO.....	52
6 REFERÊNCIAS.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação Biodigestor modelo Indiano.....	11
Figura 2: Esquema de um biodigestor modelo Chinês.....	13
Figura 3: Esquema representativo do modelo de Biodigestor Fluxo Tubular ou Canadense.....	14
Figura 4: Fases da digestão anaeróbica.....	17
Figura 5: Gráfico representando o Ponto de Equilíbrio.....	27
Figura 6: Vista da ETEC mostrando a localização do biodigestor.....	29
Figura 7: Vista do gasômetro com biogás.....	30
Figura 8: Blocos de alojamentos.....	31
Figura 9: Matrizes da Suinocultura.....	32
Figura 10: Amostras de Dejetos e biofertilizante.....	33
Figura 11: Tanque de efluente e biodigestor.....	39
Figura 12: Representação do Ponto de equilíbrio econômico em função da produção anual de dejetos (m³).....	50
Figura 13: Produção de dejetos x receita.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análises físico-químicas de dejetos e biofertilizantes.....	37
Tabela 2: Análises biológicas.....	38
Tabela 3: Análise mineral do biofertilizante.....	40
Tabela 4: Análise de metais pesados do biofertilizante.....	41
Tabela 5: Composição de 8,2 m ³ .dia ⁻¹ de biofertilizante e equivalência de nutrientes em R\$.....	41
Tabela 6: Produção de dejetos da suinocultura (148 cabeças).....	42
Tabela 7: Produção de dejetos humanos.....	42
Tabela 8: Produção de biogás em função da DQO removida.....	43
Tabela 9: Geração diária de biogás.....	43
Tabela 10: Produção diária de metano.....	43
Tabela 11: Equivalência metano e GLP.....	43
Tabela 12: Custos de implantação do biodigestor.....	45
Tabela 13: Custos com mão de obra para operação e manutenção.....	45
Tabela 14: Custos com energia elétrica.....	46
Tabela 15: Demonstrativo de resultados econômicos.....	47
Tabela 16: Fluxo de caixa – 1 a 5 anos.....	48
Tabela 17: Fluxo de caixa - 6 a 10 anos.....	48
Tabela 18: Indicadores econômicos do sistema de biodigestão.....	48
Tabela 19: Demonstrativo do ponto de equilíbrio.....	49

RESUMO

Tendo em vista os problemas ambientais relativos as contaminações do solo e da água oriundas dos dejetos produzidos em propriedades rurais, objetivou-se avaliar economicamente um biodigestor de fluxo contínuo, instalado na Escola Técnica Estadual “Orlando Quagliato”, situada no município de Santa Cruz do Rio Pardo-SP, bem como o processo de biodigestão anaeróbia e consequente produção de biofertilizante e biogás, oriundos dos dejetos de suínos e humanos. Os dejetos foram provenientes da suinocultura, que conta com 15 matrizes totalizando 148 animais, e dejetos humanos referente aos blocos de alojamentos para 200 alunos residentes, os quais diariamente são enviados para o biodigestor. O biodigestor em questão foi instalado com intuito de diminuir a contaminação do meio ambiente, produzir biogás e biofertilizante para utilização nos projetos produtivos da própria instituição escolar. Foram realizadas análises físico-químicas e microbiológicas do biofertilizante com a finalidade de avaliar a sua qualidade, no que tange a composição química e presença de microorganismos patogênicos para definição de sua utilização na agricultura. Considerando a produção de dejetos, realizou-se estimativa da produção de biogás, objetivando o potencial das receitas do processo. Foram analisados os custos de implantação, manutenção e depreciação. Os benefícios anuais foram dados pelo valor econômico dos nutrientes presentes no biofertilizante e pela produção de biogás estimada. Também foram estimados indicadores de viabilidade econômica, como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), PayBack (PB) e Ponto de Equilíbrio, utilizando uma taxa de desconto de 10,38% a.a. O investimento inicial para implantação atualizado foi de R\$ 184.601,84 e os custos anuais do sistema foram de R\$ 1.218,12 com manutenção e R\$ 18.460,00 com depreciação. O benefício obtido com o emprego do biofertilizante foi de R\$ 6.267,05.ano⁻¹ e com produção de biogás equivalente estimada em R\$ 24.594,86.ano⁻¹, totalizando uma receita

de R\$ 30.861,91, expondo benefícios superiores aos custos anuais. Ficou evidenciado que tanto o biogás quanto o biofertilizante não são aproveitados plenamente, demonstrando ainda que o projeto foi superdimensionado na sua implantação considerando o plantel de suínos existentes, embora existam perspectivas para aumento do setor suinícola.

Palavras-chave: Biofertilizante, biogás, biodigestão anaeróbia, dejetos.

TECHNICAL AND ECONOMIC EVALUATION OF A TUBULAR CONTINUOUS FLOW BIODIGESTOR: MODEL CASE STUDY BUILT AT ETEC "ORLANDO QUAGLIATO" IN SANTA CRUZ DO RIO PARDO, SÃO PAULO STATE, BRAZIL.

Botucatu, 2016. 70 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: JOSÉ EDER PEREIRA DA SILVA

Adviser: JORGE DE LUCAS JUNIOR

ABSTRACT

In view of the environmental problems of soil contamination to and from the water coming from the waste produced in farms aimed to economically evaluate a continuous flow digester, installed in the State Technical School "Orlando Quagliato", located in the municipality of Santa Cruz do Rio Pardo-SP, as well as the process of anaerobic digestion and consequent production of bio-fertilizer and biogas, derived from pig manure and human. The waste came from pig farming, which has 15 arrays totaling 148 animals, and human waste relating to the accommodation blocks for 200 resident students, who every day are sent to the digester. The biodigester in question was installed in order to reduce contamination of the environment, produce biogas and biofertilizers for use in productive projects of their own educational institution. physico-chemical and microbiological analyzes of biofertilizers were conducted in order to assess their quality, with respect to chemical composition and the presence of pathogenic microorganisms to define its use in agriculture. Considering the production of waste, there was estimated biogas production, aiming the potential revenue in the process. deployment costs, maintenance and depreciation were analyzed. The annual benefits were given the economic value of the nutrients present in biofertilizers and the estimated biogas production. Were also estimated economic viability indicators, such as net present value (NPV), internal rate of return (IRR), Payback (PB) and Balance, using a discount rate of 10.38% p.a. The initial investment was estimated at R\$ 184,601.84 and the system annual costs were R\$ 1.218,12 with maintenance and R\$ 18.460,00 with depreciation. The benefit obtained by biofertilizer use was R\$ 6.267,05.ano⁻¹ and biogas production equivalent around R\$ 24.594,86.ano⁻¹, totaling a revenue of R\$ 30.861,91, exhibiting superior benefits annual

costs. This study revealed that as much biogas as biofertilizers are not used fully, further demonstrating that the project was oversized in its implementation, considering the amount of existing animals, although there are prospects for increased this sector.

Keywords: Biofertilizer, biogas, anaerobic digestion, waste.

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da população mundial, há uma necessidade maior da produção de alimentos que, com esse aumento, resultará numa maior produção de resíduos, seja de origem animal ou vegetal, os quais são um problema, tanto para quem produz como também, para o meio ambiente caso não recebam o devido tratamento. Assim, o aumento da produção de alimentos para atender a demanda deve ser obtido visando a preservação do meio ambiente. E, para isso, torna-se necessário implementar nos sistemas de produção o uso das fontes alternativas de energia.

Na produção de alimentos de origem animal, os dejetos, quando lançados diretamente no ambiente, serão fonte de contaminação do solo, do ar e da água, podendo acarretar doenças aos animais e ao homem. Nessa vertente, os sistemas de produção de alimentos não podem apenas ter objetivos voltados para o aumento da produtividade, mas buscar as condições adequadas para dar destino seguro aos dejetos gerados na produção, evitando riscos de contaminação, bem como, reaproveitamento dos subprodutos no processo, agregando valor à atividade produtiva.

O processo de biodigestão anaeróbia, embora bastante antigo, é uma excelente alternativa para tratamento dos dejetos produzidos, promovido por bactérias que agem na ausência de oxigênio no interior de um biodigestor transformando esses dejetos em biofertilizante e gerando também o biogás, composto principalmente por metano. Este processo de biodigestão de resíduos orgânicos vem ao encontro da problemática trazida pela geração de dejetos, principalmente a diminuição da poluição ambiental, minimizando inclusive os custos de produção, com a utilização dos insumos produzidos no processo.

Segundo PALHARES (2008), o primeiro biodigestor modelo chinês foi instalado na Granja do Torto em Brasília em 1979, sendo a principal função o saneamento no meio rural. Neste mesmo enfoque, busca-se atualmente, alternativas para diminuir a poluição ambiental utilizando-se de fontes poluidoras tais como: os dejetos de animais e resíduos vegetais que são fartos nas propriedades rurais e têm se tornado um norte para as pesquisas no intuito de proteger o meio ambiente das poluições e melhorar a qualidade de vida dos seres vivos.

Os dejetos produzidos na suinocultura, bem como, dejetos humanos são considerados de grande potencial poluidor, face ao elevado número de contaminantes neles contidos, cuja ação individual ou combinada representa uma fonte potencial de contaminação e de degradação do ar, dos recursos hídricos e do solo.

O desenvolvimento de tecnologias para o tratamento e utilização dos resíduos é o grande desafio para as regiões com alta concentração de produção pecuária, em especial suínos e aves.

Estudos envolvendo os biodigestores têm sido utilizados em três principais vertentes: Tratamento de efluentes, uso energético do biogás e o uso do resíduo do tratamento de efluentes (biofertilizante), visando para melhorar a fertilidade do solo e minimizar o uso de adubos químicos.

Desta forma, o presente trabalho tem por objetivo avaliar por meio de análises físico-químicas e microbiológicas a qualidade do biofertilizante produzido no processo de biodigestão, bem como a viabilidade econômica do biodigestor de fluxo tubular, instalado na ETEC Orlando Quagliato, abastecido com dejetos de humanos e de animais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 História dos biodigestores

O processo de biodigestão é utilizado hoje por muitos países, não importando a situação econômica, política ou social, com a finalidade de produção de energia e biofertilizante. Mas a maior contribuição para a expansão dos biodigestores vem de dois países que até então eram tidos como pobres, um a Índia, carente da produção de alimentos e produção de energia. Outro, a China, também extremamente carente de alimentos somado ao excesso populacional, (GASPAR, 2003).

Segundo Gonçalves et al. (2009), o primeiro biodigestor posto em funcionamento regular na Índia foi no início do século passado em Bombaim, sendo este biodigestor alimentado no sistema batelada, o qual recebeu carga total de biomassa e somente foi esvaziado após a total conversão da biomassa em biofertilizante e biogás. Posteriormente, o Instituto Indiano de Pesquisa Agrícola de Kanpur, em 1930, iniciou pesquisa em desenvolvimento de biodigestores, inaugurando a primeira usina de gás de esterco. O sucesso obtido animou os indianos a continuarem as pesquisas, formando o Gobar Gás Institute em 1950, comandado por Ram Bux Singh. Essas pesquisas resultaram em grande difusão da metodologia de biodigestores como forma de tratar os dejetos animais, obter biogás e o biofertilizante. Foi esse trabalho pioneiro, realizado na região de Ajitmal (Norte da Índia), que permitiu a construção de quase meio milhão de unidades biodigestoras (NOGUEIRA, 1986).

Como dito, outro grande explorador desta tecnologia foi a China, principalmente devido a guerra fria, temendo ataques militares que poderiam representar o fim de toda a atividade econômica, impedindo as atividades industriais, promoveram a instalação de biodigestores para produção de energia em todo o país, na tentativa de

minimizar os efeitos de um possível ataque inimigo, ou seja, optaram pela descentralização energética. Na China, existem mais de oito milhões de biodigestores em funcionamento, contra pouco mais de 300 mil na Índia (DEGANUTTI, 2002).

Segundo Palhares (2008), o biodigestor surgiu no Brasil, na década de 40, quando os padres construíram biodigestores nas comunidades onde trabalhavam, mas somente depois de quatro décadas, o governo implantou alguns programas, foi a partir da crise energética de 1973, que os biodigestores passaram a ser uma opção adotada por países de Terceiro Mundo. O País teve maior interesse pelos biodigestores com o início da crise do segundo choque do petróleo ocorrido em 1979, sendo uma das medidas adotadas pelo governo para reduzir a dependência do mesmo, destacando um amplo programa de investimento voltado para a substituição e conservação de derivados de petróleo (PME – Programa de Mobilização Energética, em 1980).

De acordo com Palhares (2007) e Kunz; Perdomo; Oliveira (2010), no período de 1980 a 1984 diversas formas de estímulos foram utilizadas para a instalação de biodigestores, por meio de programas governamentais que estimularam a implantação dos biodigestores para geração de energia térmica para diversos usos.

Palhares (2007) comenta que, em 1982, existiam no estado de Santa Catarina 236 biodigestores, quase todos do modelo indiano, instalados em propriedades suinícolas e, no País, a Emater calculou que em 1984, o número de biodigestores era de 3000, principalmente o modelo indiano. No Brasil, considerando que a tecnologia de biodigestores já tem pelo menos quatro décadas, houveram algumas dificuldades na sua implementação fazendo com que esta tecnologia caísse no descrédito no meio rural. Isto porque envolvem conhecimentos de microbiologia, física e química, e muitos agricultores não tinham nível de escolaridade suficiente, podendo ser considerado como uma desvantagem a fim de utilizar esta tecnologia, surgindo então, a necessidade de treinamentos e assistência técnica periódica aos produtores, a fim de suprir essa deficiência.

2.2 Definição de biodigestores

Segundo Deganutti et al., (2002), um biodigestor é constituído basicamente de uma câmara fechada, composto de modo geral por duas partes: primeiramente por um tanque para abrigar e permitir a digestão anaeróbia da biomassa e a segunda o gasômetro (campânula) para armazenar o biogás. Contudo, isso ocorre sem a presença de ar, uma vez que sua função é fornecer as condições propícias para que um grupo especial de

bactérias, degrade o material orgânico, com a consequente liberação do gás metano. Como resultado desta fermentação ocorre a liberação de biogás e a produção de biofertilizante. Com relação ao abastecimento de biomassa, os biodigestores são classificados como contínuos ou intermitentes, sendo os modelos contínuos os mais utilizados com dejetos líquidos e o modelo intermitente é mais indicado quando se utilizam materiais orgânicos de decomposição lenta, como no caso de palha ou forragem misturado a dejetos de animais.

Para Silva (2001), os biodigestores destinados ao tratamento de resíduo visam a diminuição da capacidade poluidora do meio ambiente, como no caso de esgoto sanitário, dejetos de animais, efluentes de fábricas, indústrias, usinas, etc, sendo possível a produção do biogás e do biofertilizante. Podendo ser construído de alvenaria, em chapas metálicas, fibra de vidro, concreto, manta com geomembrana EPDM ou outros materiais. Os modelos mais usados são: Indiano, Chinês, Marinha, Plastisul, Apótema, Fluxo contínuo (tipo envelope).

Quadros (2010) e Factor, Araújo & Vilela Junior (2008) comentam que a utilização de biodigestores contribui para integração e sustentabilidade das atividades agropecuárias, aproveitando resíduos orgânicos gerados no meio rural, com posterior aproveitamento de uma fonte renovável de energia, o biogás e o biofertilizante, podendo suprir total ou parcialmente as necessidades energéticas e minerais da propriedade rural. O biogás e o biofertilizante devem ser tratados como insumos no que se refere a produção agrícola, pois trazem aumento da produtividade e minimizam os custos com o seu aproveitamento. Considerando ainda, que o biogás é o combustível mais limpo de todos, seguido pelo GLP e querosene em fogão pressurizado, conforme a escada energética. O biofertilizante, além de diminuir a extração das reservas naturais de nutrientes do planeta, contribui para melhoramento dos problemas ligados à sanidade e salinização dos solos, contribuindo para a prática do saneamento ambiental e da sustentabilidade da propriedade agrícola.

Deganutti et al., (2002) afirma que a implantação de biodigestores nas propriedades rurais aproveitando os dejetos de bovinos e suínos na produção de biogás e de biofertilizante, beneficiará as pessoas que vivem no local, pelo uso do biogás em fogão doméstico, lampião, geladeira, chocadeiras, secadores e também para o funcionamento de motores de combustão interna e ainda promoverá a devolução do produto biofertilizante ao solo e na minimização dos impactos ambientais.

Segundo Amaral (2004) e Rodrigues (2010), a biodigestão anaeróbica tem aumentado nos últimos anos, sendo uma alternativa para o tratamento de resíduos

provenientes da agropecuária e da agroindústria, por apresentar vantagens relativas a custos de implantação e simplicidade do processo quando comparado aos processos comumente utilizados de tratamento aeróbico de águas residuárias ou aos processos convencionais de compostagem de resíduos orgânicos sólidos.

2.3 Modelos de biodigestores

Atualmente, os biodigestores, tornaram-se uma ferramenta primordial para o tratamento dos resíduos agropecuários, contribuindo para a preservação do meio ambiente devido à reciclagem de dejetos e resíduos orgânicos poluentes (DEGANUTTI et al., 2002). Além dessa vantagem, com a ocorrência da biodigestão anaeróbia no interior do biodigestor, resultam na produção de biofertilizante e biogás, aumentando os benefícios do processo (ORTOLANI et. al., 1991).

Segundo Ortolani, (2001), os biodigestores, quanto ao processo de biodigestão podem ser em “batelada” ou “contínuos” dentre os quais se dividem em vários modelos, tais como, modelo Indiano, modelo Chinês, modelo Paquistão, modelo tailandês, modelo coreano, modelo filipino, de deslocamento vertical e o modelo em plástico flexível.

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

2.3.1 Modelo Indiano

Segundo Lucas Junior (1987), este modelo de biodigestor indiano difere-se dos demais por possuir uma campânula como gasômetro, que pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação, ou em um selo d’água externo, contendo uma parede central dividindo o tanque de fermentação em duas câmaras. A finalidade da parede divisória é fazer com que haja circulação do material pelo interior da câmara de fermentação.

No modelo indiano, sua pressão é constante, pois se o volume de gás produzido não for consumido de imediato, o gasômetro tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o seu volume e, conseqüentemente, mantendo a pressão constante no seu interior (DEGANUTTI et al., 2002).

As perdas são reduzidas na produção de gás justamente pelo motivo do gasômetro estar assentado sobre o substrato ou sobre o selo d’água. Os resíduos a serem utilizados no abastecimento do biodigestor indiano, deverão apresentar uma concentração de

sólidos totais (ST) não superior a 8%, com objetivo de facilitar a circulação dos resíduos no interior da câmara de fermentação, evitando assim entupimentos dos canos de entrada e saída do material. O fornecimento de resíduos deverá ser contínuo, onde geralmente é utilizado dejetos bovinos e/ou suínos, por apresentarem certa regularidade na produção de dejetos. Segundo Barreira (2011), do ponto de vista construtivo, mostra-se de fácil construção, entretanto o gasômetro de metal pode onerar o custo final, bem como, o afastamento da propriedade pode prejudicar e encarecer o transporte inviabilizando a instalação deste modelo.

O modelo indiano, em termos de custos de implantação, por ocupar pouco espaço no terreno, ter suas paredes construídas encravadas no solo, dispensando o uso de reforços, acaba por diminuir os custos de implantação. Embora ocupe pouco espaço, seu abastecimento deverá ser contínuo, apresentando uniformidade no abastecimento de dejetos (ORTOLANI et al., 1991).

Sendo um biodigestor de subsolo, é preciso ter cuidado na instalação, focando a impermeabilização, evitando com isso possíveis infiltrações no lençol freático. Existe biodigestores feitos em concreto ou metal, cobertos com lona vedada. Devendo ter duas saídas, com duas válvulas, por onde os restos orgânicos são despejados (DEGANUTTI et al., 2002).

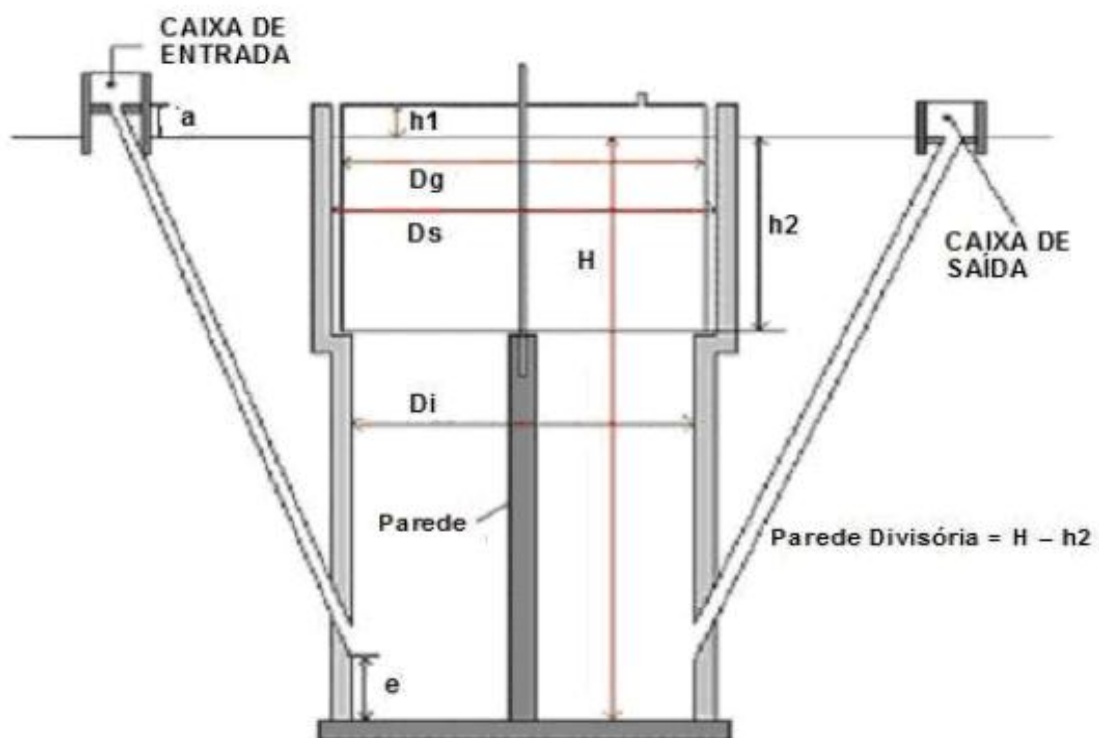


Figura 1: Representação Biodigestor modelo Indiano

Fonte: ESPERANCINI et al., 2007.

Observando a Figura 1, define-se:

- H** - a altura do nível do substrato;
- Di** - o diâmetro interno do biodigestor;
- Dg** - o diâmetro do gasômetro;
- Ds** - o diâmetro interno da parede superior;
- h1** - a altura ociosa (reservatório do biogás);
- h2** - a altura útil do gasômetro;
- a** - a altura da caixa de entrada;
- e** - a altura de entrada do cano com o afluente.

2.3.2 Modelo Chinês

De acordo com Deganutti et al. (2002), o modelo Chinês é quase que totalmente construído em alvenaria, dispensando o uso de gasômetro em chapa de aço, entretanto facilita vazamentos de biogás caso a construção não seja bem vedada e impermeabilizada. Sua estrutura é formada por uma câmara cilíndrica em alvenaria (tijolo) para a fermentação, com teto abobadado, objetivando o depósito do biogás. Este biodigestor funciona com base no fundamento da prensa hidráulica, de maneira que, com o aumento de pressão, motivado pela concentração de biogás em seu interior terá como consequência os deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, concluindo que em sentido contrário, estará ocorrendo a descompressão.

Segundo Barreira, 2011, neste tipo de biodigestor uma parcela do biogás gerado na caixa de saída será liberada para a atmosfera, com intuito de reduzir parcialmente a pressão interna, motivo este da não utilização desse modelo tipo chinês para grandes estabelecimentos. Similar ao modelo indiano, o substrato também deverá ser fornecido continuamente, com a concentração de sólidos totais em torno de 8%, para evitar entupimentos do sistema de entrada e facilitar a circulação do material.

Segundo Lucas Junior, (1987), ambos os modelos Chinês e Indiano, apresentam desempenho semelhante, contudo o modelo Indiano ter demonstrado em determinados experimentos, uma acanhada eficiência sobre o modelo Chinês, quanto a produção de biogás e redução de sólidos no substrato.

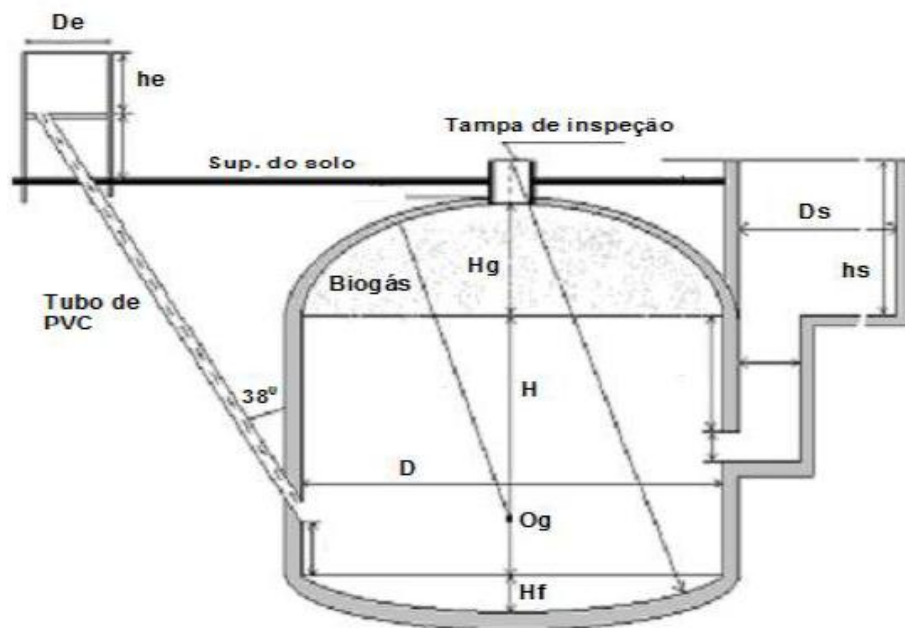


Figura 2: Esquema de um biodigestor modelo Chinês.

Fonte: Manual Biodigestor Winrock, 2009.

De acordo com o esquema da Figura 03, considera-se como:

- D** - diâmetro do corpo cilíndrico;
- H** - altura do corpo cilíndrico;
- Hg** - altura da calota do gasômetro;
- Hf** - altura da calota do fundo;
- Og** - centro da calota esférica do gasômetro;
- he** - altura da caixa de entrada;
- De** - diâmetro da caixa de entrada;
- hs** - altura da caixa de saída;
- Ds** - diâmetro da caixa de saída.

2.3.3 Fluxo Tubular ou canadense

O biodigestor de fluxo tubular, com relação a sua construção pode-se considerar como simples, pois é do tipo horizontal com câmara de digestão anaeróbia escavada no solo e o reservatório para o biogás é de material plástico/emborrachado, ou seja, inflável. Embora o referido biodigestor apresente a vantagem de ser de fácil construção, possui também aspectos negativos, como menor durabilidade, quando comparado a biodigestores Indiano e Chinês, somando-se ao fato, a possibilidade de vazamentos de biogás,

caso a lona inflável apresente perfurações, circunstância perfeitamente possível devido o material plástico utilizado (LUCAS JUNIOR; SOUZA, 2009).

Não há dúvida que a tecnologia para construção desse modelo de biodigestor é mais moderna e avançada em relação aos demais tipos, considerando ainda sua menor complexidade. Como já mencionado, é um modelo tipo horizontal, diferenciando-se dos outros modelos que são tipo vertical. Na sua construção, necessita-se de uma caixa de carga em alvenaria e com a largura maior que a profundidade, com uma área maior de exposição ao sol, o que possibilita grande produção de biogás, evitando o entupimento. Na produção de biogás, haverá a expansão do gasômetro ou cúpula do biodigestor, já que é feita de material flexível (plástico/emborrachado), facilitando também a sua retirada ou substituição em situações de necessidade. Este tipo de biodigestor, possui a tecnologia mais utilizada hoje em comparação aos demais modelos, sendo o mais difundido nas propriedades rurais. Neste tipo de biodigestor, há também a opção de envio do biogás para um gasômetro alternativo ou separado, permitindo maior controle (LUCAS JUNIOR; SOUZA, 2009).

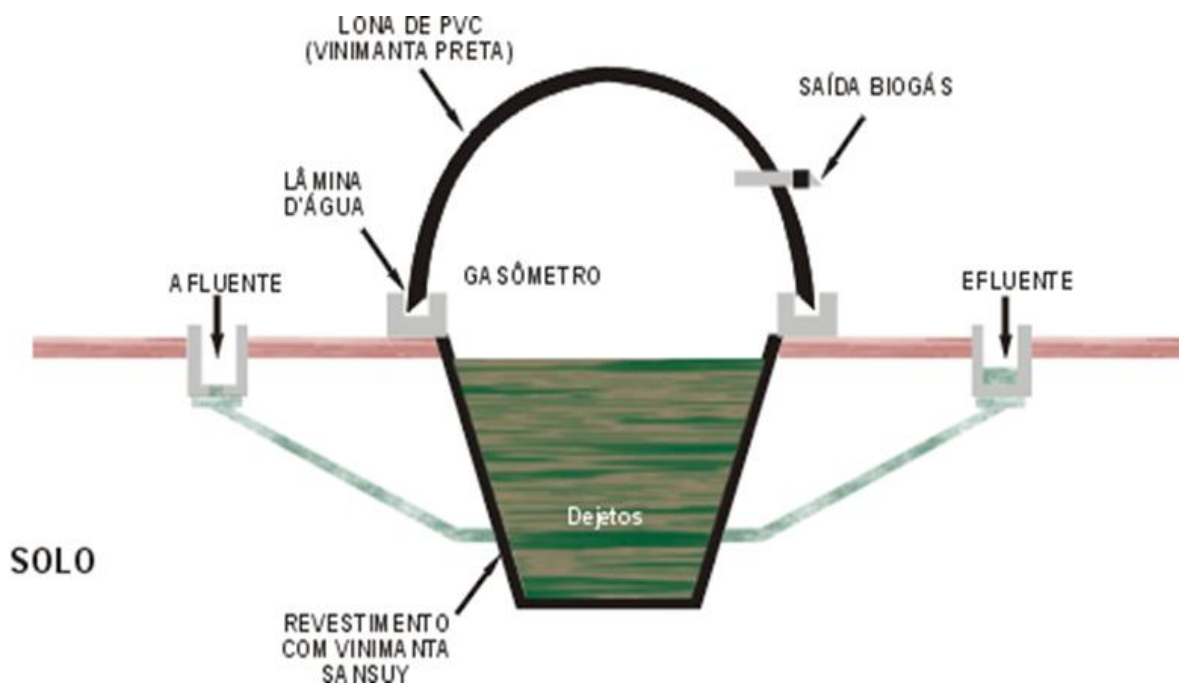


Figura 3: Esquema representativo do modelo de Biodigestor Fluxo Tubular ou Canadense
Fonte: IENGEP (2012)

Neste modelo de biodigestor, o fluxo do material a ser processado se dá sempre seguindo uma sequência, ou seja, os dejetos conforme vão sendo introduzidos no tanque do biodigestor vão deslocando o material mais antigo para o extremo oposto, agindo como um pistão, causando uma dispersão longitudinal mínima, com tempo de retenção

hidráulica suficiente para finalizar o processo de biodigestão anaeróbia (KUNZ, 2010; LIMA, 2011).

Sua construção, basicamente, é caracterizada por uma câmara de fermentação escavada no solo, com formato de trapézio ou tronco pirâmide invertido, onde é revestida tanto em relação ao solo, evitando infiltrações e contaminações do lençol freático, bem como a sua cobertura, onde utiliza-se comumente manta de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), com espessura de 0,8 mm a 2 mm, na cor preta ou branca. No revestimento interno, pode ser utilizado material sintético flexível, como manta de Policloreto de Vinila (PVC), espessuras de 0,8 mm à 1 mm, nas cores preta. Outros materiais emborrachados estão disponíveis no mercado, porém é de suma importância, a verificação de sua resistência e vida útil, haja vista, o biodigestor estar implantado a céu aberto (LIMA, 2011).

Comparando com o PEAD a manta de PVC tem vida útil superior em função da resistência à radiação solar. O PEAD tem como agravante a sua qualidade, que longo do tempo tende a ressecar e rachar, ocasionando vazamentos de substrato e biogás. Com relação ao contato com o substrato, ambos toleram variação do pH e são resistentes aos desgastes físicos (LIMA, 2011). A cobertura com manta de PVC flexível atua como um gasômetro (balão), armazenando o biogás produzido, evitando sua emissão para atmosfera. Ao inflar-se, a pressão do biogás se manterá constante devido à flexibilidade da manta do gasômetro. Neste sistema, a remoção de lodo e a recirculação dos dejetos são realizadas por bomba hidráulica, facilitando a agitação do substrato por meio de mistura hidráulica. Outra opção para a promoção da movimentação do substrato é pela recirculação do biogás do gasômetro para fundo da câmara de fermentação por meio de um compressor de gás e válvula de alívio, favorecendo a degradação do substrato e contribuindo para aumentar a eficiência do processo de digestão anaeróbia por meio dessa mistura de gás.

Com relação ao efluente (biofertilizante) conforme vai sendo produzido no processo, é encaminhado a um tanque devidamente impermeabilizado para o recebimento deste material, onde a partir de então será utilizado para aplicação no solo. Já para o biogás produzido é instalado um queimador conectado a um registro de saída do biogás, para medição da pressão do gasômetro e eventual alívio da mesma (PEREIRA; CAMPOS; MOTERANI, 2010). Esses autores recomendam a proteção do biodigestor, com edificação de cercas e limpeza da área nos arredores, evitando riscos de danos ao biodigestor e possíveis vazamentos de gás.

Segundo Kunz (2010) nos últimos anos, o biodigestor modelo tubular vem sendo bastante utilizado, principalmente na região Sul do Brasil, onde as granjas de suínos são tradição e por isso o maior número das instalações nesta região.

2.4 Biodigestão anaeróbia

Segundo Amaral et al., (2004) a digestão anaeróbia é um processo de decomposição de matéria orgânica por bactérias em um meio onde não há a presença de oxigênio gasoso. Este método é usado há muito tempo pelo homem mesmo antes dele descobrir de que se tratava ou mesmo de saber sobre a existência dos microrganismos responsáveis. A digestão anaeróbica, atualmente, é muito utilizada para o tratamento de resíduos como os provenientes de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's).

Vários são as etapas que ocorrem na digestão anaeróbia resultando na decomposição dos dejetos: a primeira fase é a liquefação ou hidrólise onde o material orgânico complexo é transformado em compostos dissolvidos ou matéria orgânica volátil; a segunda fase é a gaseificação que pode ser subdividida em duas fases fermentação ácida ou acidogênese, onde os compostos são transformados em ácidos orgânicos voláteis (fórmico, acético, propiônico, butírico e valérico), e a fermentação acetogênica ou acetogênese, onde os produtos da subfase anterior são transformados em acetato, hidrogênio e monóxido de carbono; a terceira e última fase é a metanogênese, onde os produtos da acetogênese são transformados, principalmente em metano (CH_4), embora também sejam gerados outros gases, resultando a produção principal do metano como o biogás e do efluente biofertilizante com reduzida DBO e DQO, além possuir grande quantidade de nutrientes minerais (SILVA, 2001; LOPES, LEITE, PRASAD, 2004; LUCAS JUNIOR, 2007; ORRICO JUNIOR; ORRICO; LUCAS JUNIOR, 2009).

De acordo com Prati, (2010), a digestão anaeróbica reduz o poder poluente e os riscos sanitários dos resíduos, principalmente os dejetos orgânicos, pois é um processo biológico natural.

Segundo Chernicharo (1997) e Weiss et al. (2009) as fases do processo de biodigestão anaeróbia, além das populações de microrganismos serem diferentes, ocorrem da seguinte forma:

- Hidrólise – Primeira fase do processo de degradação anaeróbica, biodigestão, as bactérias liberam no meio as chamadas exoenzimas extracelulares, que tem por função realizar a chamada hidrólise das partículas complexas (matéria orgânica particulada), que é a

transformação, ou quebra, das moléculas maiores (polissacarídeos) em ácidos orgânicos (ácido láctico e ácido butílico), alcoóis, H_2 e CO_2 . Esse processo ocorre de forma lenta, e vários fatores podem afetar o grau e a eficiência de hidrólise do substrato, tais como: temperatura de operação, tempo de residência do substrato, tamanho de partículas, pH do meio, entre outros.

- Acidogênese - Nesta etapa as bactérias convertem os produtos originados no processo de hidrólise em ácidos orgânicos, transformando as moléculas de proteínas, gorduras e carboidratos em moléculas de ácidos orgânicos (acético, propiônico e butírico), etanol, acetona, amônia, hidrogênio, dióxido de carbono e novas células bacterianas, dentre outros compostos. Os ácidos orgânicos são os principais produtos desses microorganismos, que são denominados de bactérias fermentativas acidogênicas, são os primeiros microorganismos a atuar após a hidrólise. Estes produtos metabólicos produzidos nesta fase, serão a base do consumo das bactérias acetogênicas e arqueias metanogênicas nas fases seguintes (CHERNICHARO, 1997; SUNDH et al., 2003).

- Acetogênese – As bactérias acetogênicas irão processar os ácidos orgânicos, dióxido de carbono e acetato causando a oxidação dos ácidos orgânicos, como o propionato e butirato, em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono.

- Metanogênese – Esta é a fase final do processo de biodigestão anaeróbica, onde os microorganismos denominados arqueias metanogênicas produzem o metano (biogás) a partir do acetato, do hidrogênio e do dióxido de carbono, sendo a fase limite do processo, haja vista, a taxa de crescimento lento das bactérias metanogênicas.

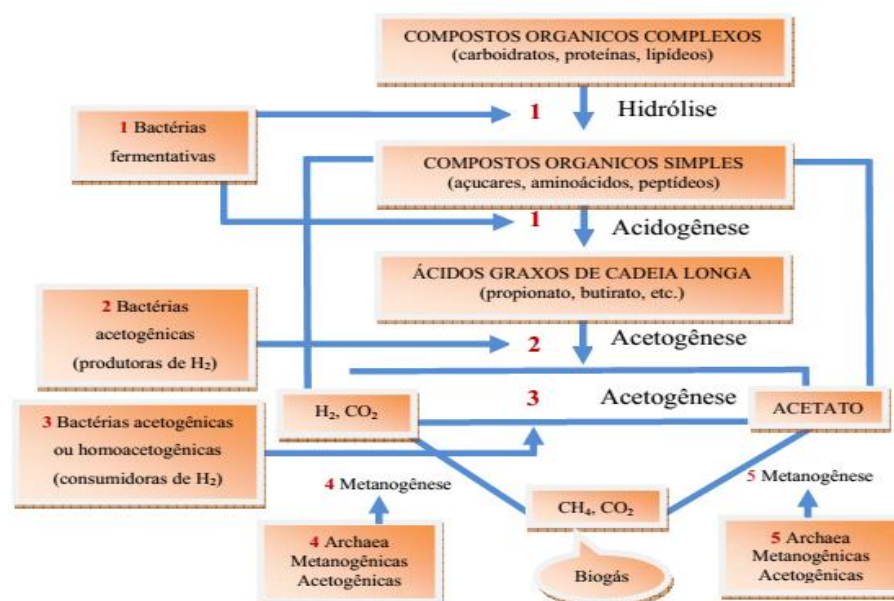


Figura 4: Fases da digestão anaeróbica Fonte: Lucas Júnior (2009)

Segundo Chernicharo, (1997), as arqueias metanogênicas apresentam uma sensibilidade enorme às variações do ambiente e a diversos outros fatores. Por isso, é recomendado a observação de alguns fatores que irão oferecer uma melhor qualidade de biogás, e uma melhor segurança na sua produção.

2.5 Fatores que influenciam a atividade anaeróbia

2.5.1 A Inexistência do Ar

Conforme Amaral et al. (2004), o oxigênio é letal para as arqueias anaeróbicas, portanto, com a presença do O₂ elas paralisam o seu metabolismo e deixam de se desenvolver, com isso, ocorre a paralisação da produção do CH₄ (metano) que é um gás rico em energia química que é o principal fornecedor de energia para o biogás, no caso de presença de oxigênio, tem-se as bactérias aeróbicas que utilizam o oxigênio como respiração e, liberam o gás carbônico, sendo assim tem-se um gás rico em CO₂, que já está totalmente oxidado e não pode ser utilizado como queima. Assim, o biodigestor deve assegurar uma completa hermeticidade que cause uma completa falta de oxigênio em seu interior, isto é, a completa anaerobiose do ambiente necessária para o metabolismo das bactérias anaeróbicas.

2.5.2 A Temperatura Ideal

A temperatura no interior do biodigestor é um fator importante para o processo de degradação biológica, produção de biogás e de biofertilizante. Deve-se procurar sempre manter a temperatura em torno de 35 °C, sendo esta a ótima temperatura para a biodigestão. Torna-se necessário um controle da temperatura para obtenção do biogás, já que alterações bruscas na temperatura, prejudicam os microrganismos anaeróbicos e consequentemente a produção do gás. Para a existência das arqueias anaeróbicas é preciso que haja uma temperatura entre 10°C e 60°C. Excedendo esses limites, elas entram em cristalização e é interrompida a produção de gás.

As faixas de temperatura associadas com o crescimento microbiano no processo podem ser classificadas como:

- Crioófilas ou psicrofílicas: < 20 °C;
- Mesofílicas: 20 °C a 45 °C;

- Termofílicas: > 45 °C.

A biodigestão termofílica (40 a 60 °C) é caracterizada como a mais problemática e sensível quanto às variações da temperatura devido à vulnerabilidade das bactérias metanogênicas, entretanto é a que mais elimina microorganismos patogênicos dos materiais utilizados no tratamento devido às altas temperaturas, considerando que fazer uso somente de temperaturas mesofílicas (de 20 a 40 °C) não terá eficiência neste quesito, embora sejam mais confiáveis no quesito controle de temperatura (SOARES, 1990; LUSTE; LUOSTARINEN, 2010).

2.5.3 Nutrientes

Segundo Pinto (1999) a composição dos dejetos a serem tratados tem uma relação direta com a produção de biogás, quanto maior a quantidade de sólidos orgânicos, com disponibilidade de fosfatos, nitratos e sulfatos, haverá maior produção de biogás. Os principais nutrientes dos microrganismos são o carbono, nitrogênio e sais minerais. Fontes ricas de nitrogênio são os dejetos de animais (inclusive seres humanos), que sob a forma de proteína é favorável, pois a mineralização conduz à amônia, que é útil no estabelecimento da alcalinidade. Fontes ricas de carbono são os restos de culturas vegetais. Os sais minerais presentes nos dejetos animais e resíduos vegetais são suficientes para a nutrição mineral das bactérias. No entanto, se não houver um adequado equilíbrio de compostos de carbono (que fornecem a energia) e de compostos nitrogenados (que fornecem o nitrogênio) não ocorrerá uma eficiente produção de biogás. As bactérias metanogênicas se nutrem de qualquer tipo de matéria orgânica, não exigem substâncias ou materiais específicos no processo de digestão, sendo uma grande vantagem para esse processo anaeróbico.

2.5.4 Teor de água

Segundo Oliveira (2004), a falta ou o excesso de água prejudica o processo de biodigestão anaeróbia, devendo estar em torno de 90% de umidade em relação ao peso dos dejetos produzidos. O teor de água varia de acordo com os dejetos, de bovinos possuem em média 84% de umidade precisa ser diluído em 100% de seu peso em água, de suínos com 19% de umidade precisa de 130% de seu peso em água. O de ovinos e caprinos por terem baixa umidade precisa de 320% de seu peso em água.

Lucas Júnior et al., (2009), recomenda de uma maneira mais prática utilizar duas partes de água para uma parte de dejetos, no caso de suínos que serão diluídos.

2.6 Biogás

A utilização do biogás como produto da biodigestão anaeróbica, mostrou-se como a mais eficiente dentro do processo de tratamento dos dejetos (HIGARASHI, 2005 e GONÇALVES, et al., 2009).

Segundo Silva (2001) a composição do biogás não é constante, porque depende de uma série de fatores como a composição química, características físicas do resíduo, do tipo e forma de operação dos biodigestores, da presença de nutrientes e substâncias tóxicas aos microrganismos, etc. Sendo assim, os gases que fazem parte da composição química média do biogás são: Metano (CH_4); Gás carbônico (CO_2); Nitrogênio (N_2); Gás sulfídrico (H_2S); Oxigênio (O); Amônia (NH_3), entre outros.

O biogás tendo como principal componente o metano (CH_4), não tem cheiro, cor ou sabor, mas outros gases presentes conferem-lhe um ligeiro odor de vinagre ou de ovo podre. No emprego do biogás como combustível, deve-se estabelecer entre este e o ar, uma relação que permita a combustão integral. Sendo ele extremamente inflamável, pode ser simplesmente queimado para reduzir o efeito estufa (cerca de 20 vezes maior que o CO_2) ou utilizado para uso em fogão doméstico, geladeiras, lampiões, chuveiro a gás, secadores de grãos, sistemas de aquecimento aviário, motores de combustão interna e geração de energia elétrica (KUNZ; OLIVEIRA; HIGARASHI, 2005).

Esses autores alertam ainda que a presença de vapor d'água, CO_2 e gases corrosivos no biogás in natura, constituem-se o principal problema na viabilização de seu armazenamento e na produção de energia. Equipamentos mais sofisticados como motores à combustão, geradores, bombas e compressores, têm vida útil extremamente reduzida. Esforços da indústria brasileira na adaptação e desenvolvimento de equipamentos para uso do biogás é ainda muito pequeno, sendo preciso avançar nesta questão, colocando a disposição, produtos, serviços, materiais e equipamentos mais adequados e confiáveis.

2.7 Biofertilizante

Para a produção do biofertilizante, ocorre o seguinte fenômeno: o afluentes (dejetos), ao passar pelo biodigestor perde carbono na forma de metano e CO_2

(diminuição na relação C/N da matéria orgânica), o que melhora as condições do material para fins agrícolas em função do aumento da solubilidade de alguns nutrientes. No entanto, a aplicação do biofertilizante no solo, sob o ponto de vista da adubação orgânica, deve ser realizado levando-se em conta critérios agrônômicos para evitar, na medida do possível, o impacto ambiental oriundo desta prática.

Para Silva (2001), o indicativo de que o biodigestor está funcionando perfeitamente é quando o biofertilizante é isento do odor desagradável do resíduo originário, e, portanto, sem atrair moscas em demasia, isso significa que o tempo que o resíduo permaneceu em seu interior foi suficiente para que sofresse uma biodigestão completa.

Segundo Kiehl (1985), pelo Decreto 86.955 de 18/02/82, do Ministério da Agricultura, o biofertilizante contém princípio ativo capaz de atuar direta ou indiretamente, sobre todas as partes das plantas, aumentando sua produtividade, porque no processo de fermentação metanogênica, os nutrientes encontrados nos resíduos não se perdem, pelo contrário, podendo em alguns casos ter aumento proporcional de certos componentes, sendo assim aproveitados como fertilizantes.

Os efluentes oriundos do biodigestor apresentam características distintas em relação ao material original (antes da biodegradação). Esse efluente pode servir de fertilizante agrícola e condicionador para o solo, sendo os nutrientes do biofertilizante mais fáceis de serem absorvidos pelas plantas, quando comparados com o material orgânico antes do processo de biodigestão (GASPAR, 2003; VILELLA, 2007).

De acordo com Silva (2001), a composição química do biofertilizante varia de acordo com a fonte de resíduo e com a dieta alimentar do animal. Alguns elementos químicos encontrados nos biofertilizantes, como: Nitrogênio Total (N); Fósforo Total (P_2O_5); Potássio (K_2O); Óxido de Cálcio (CaO) e Óxido de magnésio (MgO); Enxofre (S) e pH, são oriundos de esterco de bovinos, suínos e em camas de aves de corte e postura.

Um grande problema se encontra nos custos de transporte e distribuição do material líquido, que exige investimentos e manutenção elevada. Nestas condições, quanto maior for a concentração de nutrientes por volume transportado e distribuído, melhor a relação custo/benefício.

No entanto, a realidade nos mostra um quadro inverso, os produtores geralmente não possuem um dejetos suficientemente concentrado que possa viabilizar os custos com transporte e distribuição (KUNZ et al., 2004).

2.8 Impacto ambiental dos resíduos

Segundo Bettiol e Camargo (2006), qualquer atividade humana leva à produção de resíduos, tanto da zona urbana como da zona rural, produz uma quantidade de resíduos de residências, indústrias e de animais, que levam a comprometer os recursos naturais como a água, o solo e o ar. Dentre os recursos, o hídrico era considerado mais farto até a geração passada. Hoje se tornaram comprometidos e escassos, em virtude de grandes poluições, principalmente em algumas regiões urbanas (capitais) e rurais (regiões de grandes concentrações de criações de suínos, bovinos) e também de humanos (residências sem tratamento de esgoto).

Tonetti et al (2010) comentam que segundo o IBGE (2007), cerca de 18,71% da população brasileira vivem na área rural, atualizando pelo último Censo (IBGE 2010), chega-se ao percentual de 15,6% correspondendo a 29.830.007 habitantes que, em sua quase totalidade, lançam os esgotos diretamente nos rios, lagos ou mesmo no solo localizado nas proximidades das moradias. Este comportamento acaba piorando a contaminação dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos, gerando sérios problemas à saúde pública e ao próprio ambiente em que vivem. Pouca atenção se dá ao tratamento de efluentes líquidos gerados nas propriedades rurais que individualmente, não produz quantidade elevada de compostos poluidores, mas ao se considerar a sua totalidade, apresentam um montante considerável, e são lançados de forma dispersa e sem o devido tratamento.

As técnicas simplificadas de tratamento de esgoto poderiam solucionar este problema, no caso de regiões onde há cadeia suinícola, que utilizam no tratamento de dejetos a biodigestão anaeróbia, podem usar a mesma instalação para tratar dos esgotos humanos, misturando junto com os de suínos, exigindo pouca manutenção e baixo custo de instalação e operação (TONETTI et al., 2010).

Segundo, Kunz; Miele; Steinmetz (2009), outro problema ambiental é a geração de resíduos da suinocultura, considerando a forma de produção intensiva, produzindo grande quantidade de dejetos em pequenas áreas, causando a exaustão de muitos recursos naturais. O grande volume de águas residuárias produzidas na suinocultura, possui um alto potencial poluidor, pois possui sólidos em suspensão e dissolvidos, minerais, matéria orgânica, agentes patogênicos e possivelmente alguns metais pesados (BRANDÃO et al., 2000; CAMPOS et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2005, MAGALHÃES et al., 2006;).

Muitos suinocultores armazenam os dejetos em lagoas ou tanques para futura utilização como fertilizante orgânico. Porém, os mesmos devem ser tratados antes de

sua utilização, caso contrário geram um risco muito grande de poluição ambiental, a exemplo da emissão de gases e odores, bem como da lixiviação de nutrientes (PEREIRA; DEMARCHI; BUDIÑO, 2009).

Segundo Oliveira (1993), nesses resíduos são encontrados organismos patogênicos, como a salmonelas, por exemplo, que tem o poder de se multiplicar até 100.000 vezes na água dos rios, aumentando a suscetibilidade de dezenas de doenças, bem como os coliformes fecais causadores da leptospirose, tularemia, febre aftosa, hepatite, peste suína clássica e até ser fatal para crianças. Com isso, recomenda-se que as águas residuárias se forem para os rios sejam desinfectadas. A clorização tem sido o método mais comum.

Medeiros e Lopes (2006), apontam como grande avanço na preservação ambiental, buscar alternativas para utilização dos resíduos da suinocultura, com objetivo de utilizá-los na atividade agrícola, porém citam a necessidade de investimentos em pesquisa com o intuito de desenvolver técnicas acessíveis aos suinocultores promovendo a sustentabilidade.

Uma alternativa para minimizar os efeitos negativos dos resíduos no ambiente é a biodigestão anaeróbia realizada em um biodigestor, processo que consiste em submeter o efluente a um processo que facilita a ação de microrganismos como bactérias, transformando em biofertilizante (SCHULTZ, 2007).

Esses mesmos dejetos no processo de biodigestão, tem um alto potencial energético na produção de biogás, considerando que mais de 70% dos sólidos totais são constituídos pelos sólidos voláteis, uma vez que são o substrato dos microrganismos produtores de biogás (DIESEL et al., 2002).

2.9 Viabilidade econômica para implantação de biodigestores

Segundo Junges et al., (2009), a quantidade de dejetos produzidos para o processo de biodigestão é fundamental para a viabilidade do referido projeto, considerando que será a matéria prima para a produção de biofertilizante e biogás. Também foi observado por estes autores que benefícios ambientais não motivam principalmente os suinocultores a investir na implantação de biodigestores, mesmo tendo uma atividade com altos níveis de produção de dejetos.

Esperancini et al., (2007), ao realizarem cálculos de viabilidade de implantação de biodigestores em assentamentos rurais, concluíram que o período de

recuperação do investimento se dá em menos de 1 ano, considerando se tratar de atividades produtivas.

2.10 Técnicas de Análise de Investimentos

Segundo Lapponi (2000), todas as questões devem ser levadas em consideração na análise de viabilidade econômica de um projeto, mesmo as mais simples e básicas podem ser muito importantes na tomada de decisão em relação a implantação de um projeto ou atividade. O fluxo de caixa de um projeto é representado pelas entradas e saídas dentro de um período de tempo, onde o fluxo diferencial líquido é a diferença entre as entradas e saídas de caixa. Com relação a unidade de tempo, que pode ser mensal, semestral ou anual, deve coincidir com o período de capitalização dos juros durante o investimento.

Para análise de investimentos existem um conjunto de técnicas que buscam determinar sua viabilidade econômica e financeira, onde deve considerar uma Taxa Mínima de Atratividade.

Assim sendo, os parâmetros de viabilidade econômica entre outros, podem ser medidos pelo *Payback* (prazo de retorno do investimento inicial), pela TIR (Taxa Interna de Retorno) e/ou pelo VPL (Valor Presente Líquido) (CASAROTTO FILHO e KOPPITKE, 2007).

2.10.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O valor presente líquido é uma ferramenta de análise de investimentos que corrige a mudança de valor do dinheiro em relação ao tempo. Assim, todos os fluxos de caixa futuros são descontados utilizando-se valores atuais, ou seja, cada um dos fluxos de caixa é apresentado ao valor presente com a taxa estabelecida (LAPPONI, 2000).

Segundo Costa et al. (2012), o VPL é um método alternativo ao do *payback*, a qual visa corrigir as principais deficiências apresentadas por este. Para esta análise é fundamental adotar uma taxa de desconto, taxa mínima de atratividade (TMA) para dirigir o fluxo de caixa a um valor corrente. A TMA deve representar em porcentagem, o retorno mínimo exigido, de modo que ilustre ao dono do capital, o potencial do investimento.

No entanto, representa o chamado “Custo de oportunidade”, já que esses recursos poderiam ser utilizados em outro investimento se fosse o caso de obtenção de

maior rentabilidade. O que se procura determinar por intermédio do método VPL, é a qual o valor atual dos fluxos de entrada e de saída de caixa.

O que pode-se considerar que esse método do Valor presente líquido (VPL), é a técnica mais robusta de análise de investimento. O valor presente líquido, como o próprio nome indica, nada mais é do que a concentração de todos os valores esperados de um fluxo de caixa na data zero, ou seja, o VPL estabelece uma comparação entre o valor do investimento e o valor presente dos fluxos de caixa futuros incertos que o projeto deverá gerar no futuro. O VPL calculado para determinar o ganho monetário em um projeto de investimento qualquer pode apresentar três alternativas (COSTA, et al. 2012):

Valor positivo: Significa que o valor das entradas descontadas pela taxa mínima de atratividade é maior do que o valor atual das saídas descontadas pela mesma taxa. Neste caso a aprovação do projeto significará um ganho financeiro.

Valor negativo: Significa que o valor das entradas descontadas pela taxa mínima de atratividade é menor do que o valor atual das saídas descontadas pela mesma taxa. Neste caso a aprovação do projeto significará uma perda financeira.

Valor zero: Significa que o valor atual das entradas descontadas pela taxa mínima de atratividade é igual ao valor atual das saídas descontadas pela mesma taxa. Neste caso a aprovação do projeto não gerará nem ganho nem perda financeira.

2.10.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR (taxa interna de retorno) é um método semelhante ao VPL, pois utiliza a mesma lógica de cálculo, contudo apresenta resultados em porcentagem e não em valores monetários, além de ser bastante popular no meio de investidores. Em seguida a montagem de fluxo de caixa, calcula-se a TIR empregando uma TMA, com a finalidade de avaliar o resultado, ou seja, se o projeto é viável e corresponde às expectativas do investidor (COSTA et al. 2012).

A taxa interna de retorno de um fluxo de caixa (TIR) ou taxa interna de juros, é a taxa que torna o valor presente líquido (VPL) de um fluxo de caixa igual a zero. Deste modo, para um fluxo de caixa geral, a regra para decidir se um projeto é interessante financeiramente utilizando-se a TIR, o procedimento torna-se bem simples, ou seja, se a TIR for maior do que a taxa mínima de atratividade (custo de capital), o projeto será viável, caso contrário, o projeto será considerado inviável (LAPPONI, 2000).

2.10.3 Período de Recuperação do Investimento (Payback)

Segundo Costa et al. (2012), o payback simples de um projeto refere-se ao número de períodos necessários para se recuperar o investimento inicial.

O payback é calculado a partir da comparação entre os fluxos estimados com o desembolso inicial, até a situação em que ocorra a sua equiparação. O critério de decisão resulta em priorizar os projetos com o menor prazo de retorno comparado ao prazo máximo para recuperação do investimento (prazo máximo tolerável), que será a base para identificar o projeto como positivo ou negativo, no que tange a recuperação do investimento. Portanto:

Payback simples maior que prazo máximo tolerável, o projeto deve ser rejeitado.

Payback simples menor que prazo máximo tolerável, o projeto deve ser aceito.

No entanto, expõe algumas desvantagens, tais como, não considerar o valor do dinheiro no tempo, não considerar todos os capitais do fluxo de caixa, não ser uma medida de rentabilidade do investimento e exigir um limite arbitrário de tempo para a tomada de decisão. Existe a possibilidade da inclusão do custo de oportunidade no cálculo do payback, resultando no que se ajustou chamar de payback descontado (LAPPONI, 2000). Dadas as suas deficiências é bem provável que os investidores empreguem o período de payback de um investimento como método auxiliar na tomada de decisões, utilizando-o como um parâmetro limitador, ou seja, prazo máximo de retorno na tomada de decisão.

2.10.4 Ponto de Equilíbrio

O Ponto de Equilíbrio (Break Even Point ou Ponto de Ruptura ou Ponto Crítico) é o ponto no qual a receita total é igual aos custos e despesas totais, ou seja, equivalência financeira entre as despesas e as receitas em um mesmo período, portanto no ponto de equilíbrio não haverá lucro e nem prejuízo. Por conseguinte, saberá qual deve ser o faturamento mínimo mensal para cobrir os gastos fixos e variáveis. Esse número determinará a quantidade de receita a ser alcançada para obtenção de lucro (REBELATTO, 2004).

Segundo, Hoji (2010) para cálculo do Ponto de Equilíbrio financeiro, não é considerado os custos referente a depreciação, amortização e exaustão, pelo simples

motivo de não representarem saída de caixa. Com relação ao cálculo do Ponto de Equilíbrio econômico é considerado para realização do cálculo os custos de oportunidade.

Portanto, mesmo sendo um indicador muito simples e de fácil determinação, torna-se uma informação vital para a análise de viabilidade de um negócio ou sua adequação em relação ao mercado.

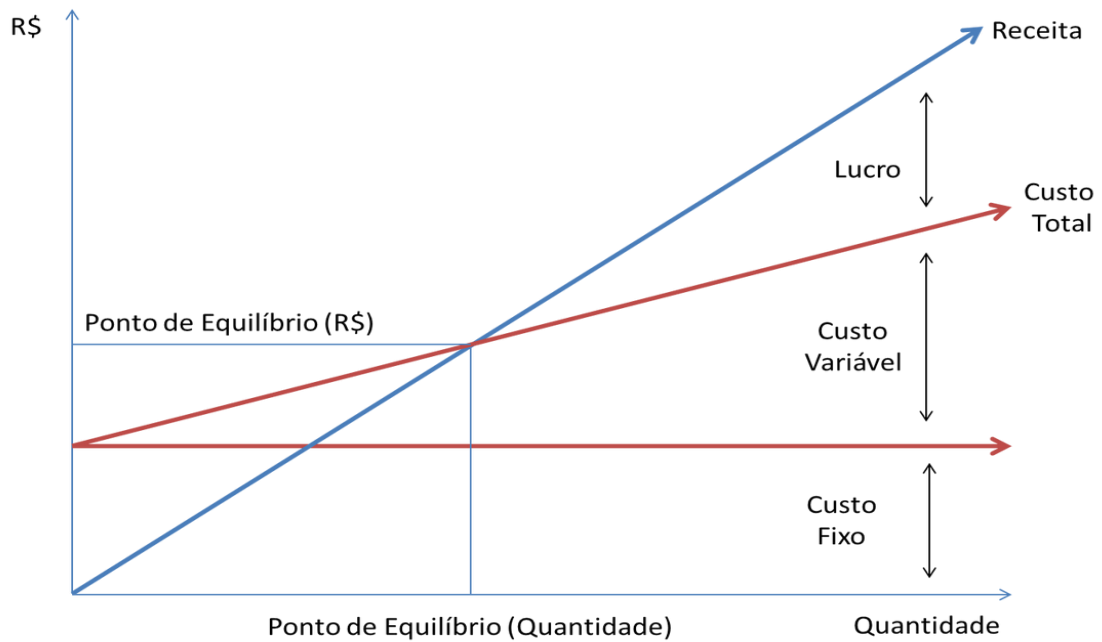


Figura 5: Gráfico representando o Ponto de Equilíbrio.

Fonte: WARREN (2003).

3 MATERIAIS E METODOS

O estudo foi desenvolvido na Escola Agrotécnica ETEC “Orlando Quagliato”, município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP, latitude 29°49’19’’S; longitude 49°31’32’’O e altitude 480 m. Segundo Köeppen, o clima da região é do tipo Cwa, mesotérmico, com chuvas concentradas no verão e verões quentes, com temperatura média anual de 22,9°C e índice pluviométrico médio anual de 1.475,3 mm (MIRANDA et al., 2009).

A escola agrotécnica possui uma área de 120 ha com diversos setores, tais como bovinocultura, suinocultura, piscicultura, ovinocultura, horticultura, culturas anuais e perenes, entre outras. No estado de São Paulo, a ETEC é uma das pioneiras na instalação de um biodigestor para o tratamento de dejetos suínos e humanos. Até o ano de 2010, ou seja, antes da construção do biodigestor, todos os dejetos humanos eram enviados a fossas negras e os dejetos de suínos eram descartados no açude da unidade escolar.

Utilizou-se um biodigestor de Fluxo Contínuo, modelo tipo Envelope impermeabilizado com Geomembrana EPDM (borracha de etileno-propileno-dieno) de 1,0 mm de espessura, da Firestone Building Products, com capacidade de 255,7 m³, com dimensionamento de 7,0 m de largura (no formato de trapézio: 7,0 m na borda por 4 m no fundo), por 40,0 m de comprimento e 1,7 m de profundidade, que recebe os efluentes oriundos da unidade escolar.

Foram coletadas amostras do biofertilizante com a finalidade de verificação e constatação das vantagens econômicas e ambientais em função da sua qualidade microbiológica e mineral produzido no processo.



Figura 6: Vista da ETEC mostrando a localização do biodigestor

O biodigestor é abastecido diariamente com dejetos de humanos dos sanitários dos alojamentos que produzem em média $4,0 \text{ m}^3$ de dejetos/dia e com dejetos de suínos e bovinos com volume médio de $4,2 \text{ m}^3/\text{dia}$, o que totaliza a produção diária de $8,2 \text{ m}^3$ de dejetos, com tempo de retenção hidráulica de aproximadamente 40 dias.

Foram feitas análises dos dejetos, na entrada (afluente) do biodigestor, e do biofertilizante (efluente), nas seguintes datas 18/06/2014, 08/09/2014 e 28/12/2014 com a finalidade de verificar a eficiência e avaliação microbiológica e mineral da qualidade do biofertilizante. As análises laboratoriais foram realizadas no laboratório do CEPECI Centro de Pesquisa em Ciências da FEMA Fundação Educacional do município de Assis, “Campus José Santilli Sobrinho”, FIO – Faculdade Integradas de Ourinhos e Laboratório da ETEC.

Também foi realizada avaliação econômica referente ao custo de implantação do biodigestor (Figura 9), considerando as despesas de manutenção, volume produzido de biofertilizante e biogás.



Figura 7: Vista do gasômetro com biogás

3.1 Dejetos humanos para o processo

Os dejetos humanos produzidos no processo foram oriundos dos alojamentos (Figura 10) para 200 alunos, que residem em regime de semi-internato, em trinta e seis apartamentos divididos seis blocos com seis apartamentos por bloco, com seis alunos por apartamento em média, contendo em cada apartamento um banheiro com um vaso sanitário com sistema adaptado de encanamento em PVC somente para o efluente desses vasos que são direcionados para a caixa de entrada (dimensão 1,2 m x 1,0 m x 1,5 m) do biodigestor por gravidade.

Considerou-se 3 descargas por aluno.dia-1 e caixa de descarga com volume de 6 litros. Nas demais instalações físicas da unidade escolar, há mais seis sanitários para professores, funcionários e alunos que também têm os efluentes dos vasos sanitários devidamente encaminhados para caixa de entrada do biodigestor por meio de encanamentos próprios para este fim.



Figura 8: Blocos de alojamentos

3.2 Dejetos suínos para o processo

Os dejetos de suínos são produzidos por 148 animais (cria, recria e engorda) em média, com 15 matrizes e 2 reprodutores (Figura 11). As baias são lavadas diariamente às 7:30 horas e todo o efluente é encaminhado para canaletas abertas até um reservatório de alvenaria com capacidade para 10 m³, devidamente graduada, onde é realizada a medição do volume de dejetos, posteriormente, bombeado por meio de um conjunto moto-bomba de 1,5 CV para a caixa de entrada do biodigestor.

Com relação aos dejetos de bovinos, os mesmos são encaminhados a caixa de entrada do biodigestor, apenas vinte litros a cada quinze dias, com a finalidade de manutenção da quantidade das bactérias anaeróbias, sendo o restante dos dejetos da bovinocultura encaminhados para bioesterqueiras para posterior uso nos projetos agrícolas.



Figura 9: Matrizes da Suinocultura

3.3 Determinações microbiológicas

3.3.1 *Salmonella* sp

O acesso de poluição fecal à água pode introduzir uma variedade de organismos patogênicos de origem intestinal. Tornando-se um veículo na transmissão de doenças. Entre os microorganismos patogênicos mais comuns encontram-se as bactérias do gênero *Salmonella*. Amplamente distribuídas na natureza, são responsáveis por um elevado número anual de infecções gastrointestinais, cuja incidência vem se tornando cada vez maior em todo mundo. O gênero *Salmonella* indica a presença das mais importantes bactérias que causam intoxicações alimentares e são transmitidas através de alimentos contaminados de origem animal. A técnica de avaliação empregada foi a dos Tubos Múltiplos, utilizando índices do Número Mais Provável (NMP) conforme Norma Técnica L.5.218 da CETESB (DE CARLI, 2007).

3.3.2 Coliformes Fecais e Totais

As amostras para análise (Figura 12) foram retiradas na caixa de entrada do biodigestor e no reservatório de biofertilizante. A presença de coliformes indica poluição, com risco potencial da presença de organismos patogênicos. Para esta avaliação foi

utilizada a técnica de tubos múltiplos que é a mais tradicional para a análise de coliformes fecais e totais.

Esta metodologia permite a quantificação por “número mais provável” (NMP) de microrganismos e é dividida em duas fases sucessivas, uma presuntiva e outra confirmativa. E esta última somente é realizada se houver crescimento positivo na etapa presuntiva, conforme Norma Técnica L5.202 da CETESB (DE CARLI, 2007).



Figura 10: Amostras de Dejetos e biofertilizante.

3.3.3 Ovos de Helmintos

Para esse tipo de avaliação, foram utilizadas as técnicas de sedimentação espontânea, pelo método de Hoffmann, Pons e Janer ou método de Lutz, que permite a contagem de ovos e larvas de Helmintos e cistos de protozoários e também a técnica de Flutuação pelo método de Willis, indicado para pesquisa de ovos leves (CETESB, 1989).

3.3.4 Protozoários

Foram analisadas a existência de protozoários, como a Ameba. As pertencentes à família Endamoebidae, como as dos gêneros Entamoeba, Iodamoeba e Endolimax, que são parasitas comuns de nossa espécie. Também dentro deste mesmo foco, será verificada a existência de outro protozoário Giardia lamblia, popularmente conhecido como giárdia. Será utilizada a técnica de sedimentação espontânea, pelo método de

Hoffmann, Pons e Janer ou método de Lutz, que permite a contagem de cistos de Protozoários (CETESB, 1989).

3.4 Determinações Físicas

3.4.1 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Segundo Nuvolari (2003), a DQO visa medir o consumo de oxigênio que ocorre durante a oxidação química de compostos orgânicos presentes numa água. Determinação da DQO as amostras foram submetidas ao método colorimétrico e digestão com refluxo fechado em tubos de cultura, utilizando espectrofotômetro manual modelo DR-2000 da Hach e bloco digestor. Todas as medidas realizadas foram em triplicata e devidamente armazenadas por 7 dias, conforme APHA (2005). As amostras foram digeridas em meio ácido com Dicromato de Potássio ($K_2Cr_2O_7$), a 150° C durante 2 horas. Observou-se que a maior absorbância adotada para determinação da DQO, foi relacionada ao comprimento de onda.

3.4.2 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Para determinação dos valores da DBO, foi utilizado o Método de Incubação. A determinação da DBO baseou-se na determinação do oxigênio dissolvido (OD), nas amostras antes e após um período de incubação, usualmente de 5 dias, a uma temperatura de $20 \pm 5^\circ\text{C}$. As medições da DBO foram realizadas pelo método manométrico modelo BOD-OxiDirect, composto por 6 garrafas de 500 ml, tipo âmbar, para 6 amostras com dispositivos superiores respirométricos e plataforma de agitação magnética indutiva (NBR 12614).

3.5 Análise química de nutrientes minerais

Foram realizadas análises de minerais qualitativas e quantitativas nas amostras de biofertilizantes com a finalidade de verificar a qualidade nutricional em relação aos nutrientes Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio. As amostras foram analisadas via ICP-OES (espectrometria de emissão ótica com plasma acoplado indutivamente), com exceção do Nitrogênio, que foi determinado pelo método Kjeldhal (CAMARGO et al., 1986).

3.6 Estimativa da produção teórica de biogás

Conforme o Centro Nacional de Referência em Biomassa – CENBIO a estimativa de produção de biogás de resíduos da suinocultura pode ser calculada de acordo com o número de cabeças, ou seja, pela quantidade de dejetos produzidos pelos suínos. Outra forma para calcular a produção teórica de biogás é pela Demanda Química de Oxigênio – DQO removido durante o processo de biodigestão, que foi a utilizada para esses cálculos.

3.7 Avaliação de investimentos

3.7.1 Valor presente líquido (VPL)

O VPL é definido pelo valor atual dos benefícios menos o valor atual dos custos ou desembolsos.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FCL_t}{(1+k)^t} - FC_0$$

Onde:

FCL_t = Fluxo de caixa de cada período;

K = Taxa de desconto de projeto, representada pela rentabilidade mínima requerida;

FC_0 = Investimento processado no momento zero

Os critérios de decisão são:

- a) Se o $VPL > 0$ aceita-se o projeto;
- b) Se o $VPL = 0$ é indiferente aceitar ou não o projeto;
- c) Se o $VPL < 0$ rejeita-se o projeto.

O VPL representa, em valores monetários presentes, a diferença entre os recebimentos e os pagamentos de todo o projeto. Se o VPL for positivo, significa que foi recuperado o investimento inicial aplicado à Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

3.7.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

O método da Taxa Interna de Retorno (TIR) requer o cálculo da taxa que zera o valor presente líquido do fluxo de caixa das alternativas de investimento.

A Fórmula que apresenta a identidade da TIR é:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FCL_t}{(1 + TIR)^t} - FC_0$$

Onde:

0 = momento do investimento no momento zero (início do projeto)

FCL_t = montantes previstos de investimento em cada momento subsequente

TIR = taxa de rentabilidade equivalente periódica

Os critérios de decisão são:

- a) Se a $TIR > \text{Custo de capital (k)}$ aceita-se o projeto;
- b) Se a $TIR < \text{Custo de capital (k)}$ rejeita-se o projeto.

Esta taxa comparada com a taxa mínima de atratividade, a ser definida no projeto. Os investimentos com TIR maior que a taxa de atratividade são considerados rentáveis e passíveis de análise.

3.7.3 Período de recuperação do investimento (Payback)

Foi aplicado o método do Paybak Simples (PBS), medindo o prazo necessário para recuperar o investimento realizado (Figura 13).

Regra = PBS do projeto < PBS máximo => aceita-se o projeto

PBS do projeto = PBS máximo => indiferente

PBS do projeto > PBS máximo => rejeita-se o projeto

3.7.4 Ponto de Equilíbrio

Foram aplicados os cálculos abaixo para determinação do Ponto de Equilíbrio:

- Ponto de equilíbrio financeiro = Custo fixo total (-) depreciação) / margem de contribuição unitária.
- Ponto de equilíbrio econômico = Custo fixo total (+) custo de oportunidade / margem de contribuição unitária.

Antes de obter o Ponto de Equilíbrio foi necessário calcular:

- O valor total dos custos e despesas fixas mensais.
- O índice da margem de contribuição.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises físicas e biológicas

Os resultados das análises físico-químicas do afluente e do efluente são apresentados na Tabela 10. Obteve-se uma redução bastante relevante quanto às taxas de DBO e DQO, atingindo valores médios de 97,78 e 97,08%, respectivamente.

Os valores encontrados para a redução de DQO são superiores ao encontrado por Orrico Júnior (2009), que em sua pesquisa determinou redução de 81,7% da concentração da DQO para TRH de 36 dias. Contudo, para o uso agrícola do biofertilizante não há restrição de DBO e DQO, todavia, efluentes com concentrações elevadas desses parâmetros podem favorecer a formação de biofilmes e o entupimento de sistemas de irrigação (SANTOS, 2006).

Tabela 1: Análises físico-químicas de dejetos e biofertilizantes

Data das Coletas	DBO Dejetos	DBO Biofertilizante	DQO Dejetos	DQO Biofertilizante
18/06/2014	10600 mg.l ⁻¹	215 mg.l ⁻¹	16820 mg.l ⁻¹	482 mg.l ⁻¹
08/09/2014	9580 mg.l ⁻¹	310 mg.l ⁻¹	14440 mg.l ⁻¹	535 mg.l ⁻¹
28/12/2014	10500 mg.l ⁻¹	160 mg.l ⁻¹	15650 mg.l ⁻¹	350 mg.l ⁻¹
MÉDIA	10227 mg.l⁻¹	228 mg.l⁻¹	15637 mg.l⁻¹	456 mg.l⁻¹

Com relação a Coliformes Termotolerantes e Coliformes Totais (Tabela 11) apresentaram médias de redução de 99,9951% e 99,9942%, respectivamente, muito significativo do ponto de vista de redução de patógenos, porém ainda não alcançando

um valor absoluto adequado para lançamento em corpos d'água, bem como, não estar de acordo com as recomendações para qualidade microbiológica de efluentes (biofertilizante) a serem utilizados em irrigação irrestrita e restrita, considerando que a concentração de coliformes termotolerantes manteve-se numa ordem de grandeza maior que 10^3 UFC.100 mL⁻¹, ou seja, de acordo com a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2006) esses efluentes exigem um pós - tratamento para adequação para a fertirrigação.

Tabela 2: Análises biológicas

Data das Coletas	Coliformes Termotolerantes NMP (45°) /100 mL Dejetos	Coliformes Termotolerantes NMP (45°) /100 mL Biofertilizantes	Coliformes Totais NMP (35°) /100 mL Dejetos	Coliformes Totais NMP (35°) /100 mL Biofertilizante
18/06/2014	$>4,7 \times 10^8$	$5,5 \times 10^5$	$>2,3 \times 10^{10}$	$2,0 \times 10^6$
08/09/2014	$>2,1 \times 10^{10}$	$2,0 \times 10^5$	$>5,5 \times 10^{10}$	$2,1 \times 10^6$
28/12/2014	$>1,6 \times 10^8$	$3,0 \times 10^5$	$>1,6 \times 10^8$	$3,0 \times 10^5$
MÉDIA	$>7,2 \times 10^9$	$3,5 \times 10^5$	$>2,6 \times 10^{10}$	$1,5 \times 10^6$

De acordo com a NBR 13969/97 para utilização em irrigação de pomares, forragens, pastagens para gado e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual o parâmetro para coliformes termotolerantes não deve ultrapassar 5000 NMP.100 mL⁻¹.

Nas análises realizadas não foi encontrado a presença de ovos de helmintos e protozoários. Também não foram encontradas bactérias do gênero Salmonella, que pode ser em função de serem péssimas competidoras por nutrientes e sensíveis a temperatura. Embora os resultados tenham sido negativos, necessariamente não significa que estas bactérias não estejam presentes pois, existe a possibilidade de as cepas estarem em uma fase não própria para cultura, sendo necessário então técnicas especiais para sua detecção (VIEIRA, 2004).

4.2 Produção e qualidade do biofertilizante

São produzidos diariamente 8,2 m³ de biofertilizante em média, armazenado em um tanque de efluente (biofertilizante) com capacidade para 54 m³ localizado ao lado do biodigestor conforme Figura 14. Portanto, o tanque tem capacidade de

armazenamento para 6 dias, tornando necessário sua utilização na irrigação de pastagens, semanalmente.



Figura 11: Tanque de efluente e biodigestor.

As análises apresentaram as seguintes concentrações em valores médios de macronutrientes primário e secundário. As análises também se estenderam aos micronutrientes: Sódio (Na), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn), evidenciando um alto teor de sódio ($26,33 \text{ mg.L}^{-1}$), em relação aos demais micronutrientes, conforme Tabela 1. Entretanto quando comparado a qualidade da água para fins de irrigação, que considera águas de baixa salinidade até o valor de 150 mg.L^{-1} , o teor de Sódio do biofertilizante é totalmente aceitável para uso em irrigação do solo (CORDEIRO, 2001).

Tabela 3: Análise mineral do biofertilizante

NUTRIENTES	UNID	18/06	08/09	28/12	MEDIA
Ph	ph	7,8	7,4	7,3	7,5
N	g.L ⁻¹	0,18	0,30	0,32	0,266
P ₂ O ₅	g.L ⁻¹	0,07	0,05	0,0475	0,056
K ₂ O	g.L ⁻¹	0,12	0,10	0,0701	0,0967
Ca	g.L ⁻¹	0,05	0,06	0,0351	0,0484
Mg	g.L ⁻¹	0,02	0,025	0,0191	0,0214
S	g.L ⁻¹	0,00	0,01	0,0146	0,0082
MO	g.L ⁻¹	2,00	2,00	2,00	2,00
C	g.L ⁻¹	1,11	1,00	1,11	1,07
Na	mg.L ⁻¹	27	25	27	26,33
Cu	mg.L ⁻¹	0,0	0,0	0,05	0,02
Fe	mg.L ⁻¹	0,4	0,4	0,38	0,39
Mn	mg.L ⁻¹	0,0	0,30	0,03	0,11
Zn	mg.L ⁻¹	0,4	0,1	0,08	0,19

Cervi (2009), trabalhando com biodigestão anaeróbia, com dejetos de suínos, após análise das amostras de biofertilizante, obteve as seguintes concentrações de macronutrientes primários: Nitrogênio (0,91 g.L⁻¹), Fósforo (0,33 g.L⁻¹) e Potássio (0,30 g.L⁻¹), demonstrando concentrações muito superiores comparadas aos resultados obtidos, conforme Tabela 1, que pode ser explicado pela diferente composição e diluição dos dejetos.

Silva et al. (2012), trabalhando com avaliação físico-química de biofertilizantes gerados em biodigestor anaeróbio e avaliação da eficiência como fertilizante agrícola, utilizando dejetos da suinocultura e dejetos humanos, obteve as seguintes concentrações de nutrientes primários: Nitrogênio (0,298 g.L⁻¹) com variação de 10,7%, Fósforo (0,0506 g.L⁻¹) com variação de 10,6% e Potássio (0,117 g.L⁻¹) com variação 17,1%, indicando a similaridade dos dejetos produzidos para a digestão anaeróbica. Conforme Tabela 2, foi realizada análise para metais pesados do efluente (biofertilizante), onde os valores obtidos não ultrapassaram as concentrações máximas dos parâmetros estabelecidos, de acordo com Artigo 18 do D.E. 8.468/76.

Tabela 4: Análise de metais pesados do biofertilizante

PARÂMETROS	UNID. ANALÍTICAS	ANALISE AMOSTRA	V.M.P. (Art. 18)
Arsênio Total	mg/L	< 0,010	0,2
Bário	mg/L	0,084	5,0
Boro	mg/L	0,081	5,0
Cádmio	mg/L	< 0,005	0,2
Chumbo	mg/L	< 0,010	0,5
Cobre	mg/L	0,048	1,0
Cromo Total	mg/L	< 0,010	5,0
Estanho	mg/L	< 0,010	4,0
Mercúrio	mg/L	0,010	0,01
Níquel	mg/L	< 0,010	2,0
Prata	mg/L	0,010	0,02

Amostra atende aos padrões estabelecidos pelo D.E. 8.468/76 (Artigo 18)

4.3 Valor dos nutrientes minerais

Os valores referente às concentrações de macronutrientes foram relacionados aos preços de fertilizantes químicos utilizados na agricultura, considerando a produção diária de 8,2 m³ de biofertilizante, demonstrando que para uma produção de 2.993,0 m³.ano⁻¹ o valor corresponderia a R\$ 6.267,05.ano⁻¹, no que se refere aos nutrientes minerais de sua composição, conforme Tabela 3.

Tabela 5: Composição de 8,2 m³.dia⁻¹ de biofertilizante e equivalência de nutrientes em R\$.

Biofertilizante	g.l ⁻¹	Produção diária (g)	Gramas nutriente Valor (R\$)*	Produção (R\$.dia ⁻¹)	Total (R\$.ano ⁻¹)
Nitrogênio	0,266	2181,20	0,00573	12,50	4.562,50
Fosforo	0,0560	459,20	0,00390	1,79	653,35
Potássio	0,0967	792,94	0,00288	2,28	832,20
Cálcio	0,0484	396,88	0,00038	0,15	54,75
Magnésio	0,0214	175,48	0,00076	0,13	47,45
Enxofre	0,0082	67,24	0,00477	0,32	116,80
TOTAL/ANO=					6.267,05

*Fonte: INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA, 2015.

4.4 Estimativa da produção de biogás

O biogás produzido no sistema de biodigestão é utilizado no setor de industrialização agropecuária da ETEC, utilizado nos fogões, principalmente no aquecimento de água. O cálculo para estimativa de produção de biogás, foi efetuado de acordo com o número de cabeças, ou seja, pela quantidade de dejetos (esterco + urina) produzidos pelos suínos, conforme Tabela 4 que foi de 665,4 Kg.dia⁻¹ considerando a quantidade de dejetos produzidos em cada fase produtiva, (LUCAS JUNIOR et al., 2009).

Tabela 6: Produção de dejetos da suinocultura (148 cabeças)

Fases de produção	Quant. animais	Dejetos Animal/dia	Dejetos Kg/dia
Matrizes gestação	05	11,0	55,0
Matrizes c/leitões	05	18,0	90,0
Matrizes	05	4,9	24,5
Cachaços	02	6,0	12,0
Leitões (creche)	40	0,95	38,00
Suínos terminação	91	4,9	445,9
Total	148		665,4

Fonte: Lucas Junior et al. (2009)

Na Tabela 5, demonstra a produção de dejetos humanos, provenientes dos sanitários dos alojamentos, considerando que são utilizados seis litros de água para cada descarga.

Tabela 7: Produção de dejetos humanos

Nº de alunos	Dejetos/aluno (unitário)	Kg/dejetos/dia (Total)	descargas/dia/aluno (Média)	Volume médio m³/efluentes/dia
200 alunos	0,4 Kg	80 Kg	03 descargas	4 m ³ /dia

Fonte: Adaptado BARREIRA (2011)

A estimativa para produção de biogás foi realizada com base em coeficientes técnicos disponíveis, a partir do volume de dejetos produzidos (8,2 m³.dia⁻¹) pela atividade de criação de suínos e dejetos humanos.

A sequência de cálculos, apresentada a seguir, permitiu chegar a uma estimativa conservadora, mas significativa.

Bley Junior et al. (2009), consideraram o valor de 0,35 m³ de biogás.L⁻¹ de DQO removido (Tabela 6), obtendo a produção diária de 43,57 m³ de biogás, equivalente a 19,61 Kg de GLP.dia⁻¹ ou 7.157,65 Kg de GLP.ano⁻¹, correspondendo a 550,59 botijões.ano⁻¹, resultando em uma receita anual de R\$ 24.594,86.

Tabela 8: Produção de biogás em função da DQO removida.

Vazão m³.dia⁻¹	Afluente Biodigestor (mg DQO.l⁻¹)	Eficácia de remoção (%)	Efluente Biodigestor (mg DQO.l⁻¹)	DQO removido (Kg DQO.dia⁻¹)	Produção Biogás (m³.dia⁻¹)
8,2	15637	97,08	456	124,48	43,57

A estimativa da quantidade de biogás produzido, também pode ser calculada em função da quantidade de dejetos (Kg.dia⁻¹) conforme Tabela 7, no qual para cada Litro de dejetos de suínos ocorre a produção de 0,30 m³ de biogás (SILVA e RUGGERO, 2010).

Tabela 9: Geração diária de biogás

Dejetos produzidos (Kg.dia⁻¹)	Valor equivalente	Biogás produzido (m³.dia⁻¹)
665,4	0,30	199,62

Lucas Junior (1987) adotou a média de presença de CH₄ (Metano) no biogás em 57,7%, conforme Tabela 8.

Tabela 10: Produção diária de metano

Biogás produzido (m³.dia⁻¹)	CH₄ no biogás (%)	Metano (m³.dia⁻¹)
199,62	57,7	115,18

Segundo Almeida et al. (2008), cada m³ de metano (CH₄) equivale a 0,454 litros de gás GLP, conforme Tabela 9.

Tabela 11: Equivalência metano e GLP

Metano - CH₄ (m³.dia⁻¹)	Valor equivalente	GLP equivalente (l.dia⁻¹)
115,18	0,454 litros de GLP	52,29

Considerando o valor do botijão em R\$ 44,67, valor referente a Janeiro/2015, conforme ANP (Agência Nacional do Petróleo, 2015), e uma produção anual de 19086 litros de GLP, o que corresponde a 605,9 botijões.ano⁻¹, considerando que cada botijão de gás GLP possui 31,5 litros (NBR 8614). Multiplicando pelo valor do botijão referente Janeiro/2015, obtém-se uma receita de R\$ 27.065,55.ano⁻¹.

De acordo com Souza et al. (2005), para produção de 0,07 m³ de biogás é necessário 1 Kg de dejetos de suínos, produzindo desta forma o montante de 17.001,7 m³ de biogás.ano⁻¹, equivalente a 7.650,8 Kg de GLP.ano⁻¹ ou 588,5 botijões.ano⁻¹, o que corresponde a R\$ 26.288,30.ano⁻¹.

Como demonstrado, verificou-se valores diversos, haja vista, as muitas variáveis na produção do biogás, como a constituição dos dejetos, temperatura, diluição, entre outros.

Para avaliação econômica da produção de biogás, adotou-se a estimativa baseada em Kg DQO removido, o que resultou em uma receita anual de R\$ 24.594,86 que somado a receita de R\$ 6.267,05.ano⁻¹ oriunda da produção de biofertilizante teremos uma receita bruta anual de R\$ 30.861,91.

4.5 Custos de implantação do sistema

Os investimentos realizados para a implantação do sistema de biodigestão estão relacionados na Tabela 12, onde foram determinados através de um levantamento de custos, os itens limpeza e terraplanagem do terreno, construção do biodigestor, serviços de alvenaria, custos com aquisição de equipamentos e materiais, incluindo os valores pagos a título de mão-de-obra para instalação. Os custos unitários foram determinados por meio de informações obtidas junto a direção de serviços da ETEC responsável pela implantação do sistema de biodigestão, no qual foi apresentado todas as planilhas de custos que posteriormente foram atualizadas em janeiro de 2015, com novas cotações nos mesmos fornecedores a época da construção.

Tabela 12: Custos de implantação do biodigestor:

UNID	DESCRIÇÃO DE MATERIAIS E/OU SERVIÇOS	V.UNIT.	V.TOTAL
01 un	Geomembrana EPDM (7,0 m x 40 m x 1,7 m) e instalação	157.601,00	157.601,00
60 h	Retroescavadeira (terraplenagem)	120,00	7.200,00
3,84 m³	Concreto para viga de fixação (20 X 15 cm CONCRETO)	295,04	1.132,96
62 un	Estacas de 0,15 x 0,15 x 2,00 m (com ferragem armada c/ 4 ferros 5/16")	23,24	1.441,00
522 h	Mão de obra escavação manual e modelagem do biodigestor e reservatório de biofertilizante	9,00	4.698,00
520 h	Mão de obra construção de viga/estacas e caixa de entrada	9,00	4.680,00
230 un	Chumbador parabolt para fixação	4,00	920,00
21 un	Perfil de ferro galvanizado para fixação do EPDM no concreto	21,00	441,00
01 un	Rede de proteção para sustentação da cúpula do Biodigestor	1.440,00	1.440,00
21 un	Tubulação PVC condução de dejetos (150 mm²)	96,00	2.016,00
21 un	Tubulação PVC condução de dejetos (50 mm²)	26,00	546,00
110 m	Mangueira preta para biogás	4,50	495,00
01 un	Caixa de alvenaria (entrada) medindo 1,00 x 0,70 x 1,50 m	748,00	748,00
04 un	Registros	31,50	126,00
01 un	Conjunto moto bomba 1,5 CV	1.117,00	1.117,00
TOTAL			184.601,84

4.6 Custos anuais do sistema

Os custos anuais do sistema foram considerados como: Custos de manutenção e operação (Tabelas 13 e 14), depreciação e juros sobre o capital investido.

Tabela 13: Custos com mão de obra para operação e manutenção

DISCRIMINAÇÃO	HORAS/ano	R\$/hora	Valor total/ano (R\$)
Mão de obra – operação/manutenção	240	R\$ 4,45	R\$ 1.068,00

(Ref. Janeiro/2015 – Fonte: Instituto de Economia Agrícola) para a região em questão.

Tabela 14: Custos com energia elétrica

DISCRIMINAÇÃO	Kwh/ano	R\$/Kwh	Valor total/ano (R\$)
Energia elétrica	450	0,3336	R\$ 150,12

(Ref. Janeiro/2015 – Fonte: CPFL)

Os custos de operação e manutenção são relativamente baixos, uma vez que o sistema de biodigestão apresenta grande autonomia no processo. Utilizando pouca mão-de-obra na operação e manutenção. O salário rural médio considerado para a região de Santa Cruz do Rio Pardo-SP, foi de R\$ 902,88, conforme Sindicato dos Trabalhadores Rurais do município (INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA, 2015).

Para o cálculo da mão-de-obra necessária para a operação e manutenção considerou-se o tempo de operação necessário estimado em 240 horas.ano⁻¹, correspondendo a R\$ 4,45.hora⁻¹, totalizando em R\$ 1.068,00.ano⁻¹.

Os gastos com energia elétrica proveniente do funcionamento do conjunto moto-bomba para envio dos dejetos de suínos até a caixa de entrada do biodigestor também se mostraram baixos, considerando o pouco tempo de utilização, estimado em R\$ 0,4113.dia⁻¹, o que resultou num montante de R\$ 150,12.ano⁻¹ (CPFL, 2015).

4.7 Análise Econômica

Os benefícios totais foram estimados em R\$ 30.861,91.ano⁻¹ e os custos totais foram de R\$ 19.678,30.ano⁻¹ alcançando um resultado operacional positivo de R\$ 11.183,61.ano⁻¹ conforme Tabela 15.

Tabela 15: Demonstrativo de resultados econômicos

Biodigestor - Capacidade 255,7 m³ Ref. 15 Matrizes	R\$	%
a) RECEITA		
a.1) Receita Bruta	30.861,91	100,0%
a.2) ICMS/IPI		0,0%
a.3) PIS/COFINS		0,0%
a.4) INSS s/ Faturamento		0,0%
a.5) Devoluções e Abatimentos		0,0%
a.6) Receita Líquida	30.861,91	100,0%
b) CUSTOS VARIÁVEIS	1.218,12	3,9%
b.1) DIRETOS	1.218,12	3,9%
b.1.1) Materiais	0,00	0,0%
b.1.2) Mão de Obra Direta	1.068,00	3,5%
b.1.3) Energia Elétrica	150,12	0,5%
b.1.4) Outras Despesas Diretas		0,0%
b.2) VENDAS	0,00	0,0%
b.2.1) Comissões		0,0%
b.2.2) Fretes Venda		0,0%
c) CUSTOS E DESP. FIXAS	-18.460,18	-59,8%
c.1) MÃO DE OBRA	0,00	0,0%
d.1.1) Manutenção	0,00	0,0%
c.2) OUTROS GASTOS GERAIS	-18.460,18	-59,8%
c.2.1) Depreciação Direta do Biodigestor 10 anos	-18.460,18	-59,8%
d) RESULTADO OPERACIONAL (a - b - c)	11.183,61	44,1%
e) LUCRO/(PREJUÍZO) LÍQUIDO	11.183,61	44,1%

O Fluxo de caixa do projeto foi estimado considerando-se um período de 10 anos de vida útil, adotou-se uma taxa de desconto de 10,35% ao ano (Taxa Selic de Janeiro/2015). Assim o projeto foi analisado segundo os indicadores: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Período de recuperação do capital (Payback) e Ponto de equilíbrio.

O investimento atualizado foi de R\$ 184.601,34, ano “zero” interpretado como ano-base e fluxo de caixa de R\$ 30.861,91 do 1º ao 10º ano, o VPL foi de R\$ 1.974,72, portanto positivo, TIR: 10,63% ou seja, 2,42% acima da TMA, embora sejam

tímidos esses resultados, mas positivos, significando que o investimento é economicamente atrativo e Payback de 5 anos, 11 meses e 23 dias, um pouco alto, mas ainda viável, inferior ao tempo de vida útil do projeto, que foi abalizado um cenário de 10 anos. Todos os indicadores de viabilidade econômica apresentaram resultados favoráveis.

Tabela 16: Fluxo de caixa – 1 a 5 anos

Ano	0	1	2	3	4	5
Fluxo de Caixa	- 184.601,84	30.861,91	30.861,91	30.861,91	30.861,91	30.861,91
Fluxo de Caixa Acumulado	- 184.601,84	153.739,93	- 122.878,02	- 92.016,11	- 61.154,20	- 30.292,29
Fluxo de Caixa Descontado	- 184.601,84	27.959,69	25.330,40	22.948,36	20.790,32	18.835,23
Fluxo de Caixa Descontado Acumulado	- 184.601,84	156.642,15	- 131.311,75	- 108.363,39	- 87.573,07	- 68.737,84

Tabela 17: Fluxo de caixa - 6 a 10 anos

Ano	0	6	7	8	9	10
Fluxo de Caixa	- 184.601,84	30.861,91	30.861,91	30.861,91	30.861,91	30.861,91
Fluxo de Caixa Acumulado	- 184.601,84	569,62	31.431,53	62.293,44	93.155,35	124.017,26
Fluxo de Caixa Descontado	- 184.601,84	17.063,99	15.459,31	14.005,53	12.688,47	11.495,26
Fluxo de Caixa Descontado Acumulado	- 184.601,84	- 51.673,85	- 36.214,55	- 22.209,01	- 9.520,54	1.974,72

Tabela 18: Indicadores econômicos do sistema de biodigestão

TMA	10,38%	Selic - janeiro/2015	
VPL	1.974,72		
TIR	10,63%	2,42%	Variação percentual
Análise Retorno do Investimento	Anos	Meses	Dias
Pay Back Simples	5	11	23

Com o plantel atual de 15 matrizes e a produção correspondente de dejetos, já supera o Ponto de equilíbrio econômico, que é de $5,1 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ de dejetos, totalizando $1864 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$, conforme (Figura 15). A produção de dejetos presente é de $8,2 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$, o que totaliza $2993 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$, alcançando anualmente uma receita de R\$ 30.861,91, custo total de R\$ 19.678,30 e Lucro de R\$ 11.183,61, conforme Tabela 19.

Tabela 19: Demonstrativo do ponto de equilíbrio

Nº	m³	Custo Fixo	Custo Total	Receita	Lucro
1	1.000	18.460,00	18.866,99	10.311,36	-8.555,63
2	1.100	18.460,00	18.907,69	11.342,50	-7.565,19
3	1.200	18.460,00	18.948,39	12.373,64	-6.574,75
4	1.300	18.460,00	18.989,08	13.404,77	-5.584,31
5	1.400	18.460,00	19.029,79	14.435,91	-4.593,88
6	1.500	18.460,00	19.070,66	15.467,04	-3.603,62
7	1.600	18.460,00	19.111,18	16.498,18	-2.613,00
8	1.700	18.460,00	19.151,88	17.529,32	-1.622,56
9	1.800	18.460,00	19.192,76	18.560,45	-632,31
10	1.864	18.460,00	19.218,89	19.220,38	+1,49
11	1.900	18.460,00	19.233,46	19.591,59	+358,13
12	2.000	18.460,00	19.273,98	20.622,73	+1.348,75
13	2.100	18.460,00	19.314,68	21.653,86	+2.339,18
14	2.200	18.460,00	19.355,38	22.684,99	+3.329,61
15	2.300	18.460,00	19.396,08	23.716,14	+4.420,06
16	2.400	18.460,00	19.436,78	24.747,27	+5.310,49
17	2.500	18.460,00	19.477,47	25.778,41	+6.300,94
18	2.600	18.460,00	19.518,17	26.809,54	+7.288,37
19	2.700	18.460,00	19.558,87	27.840,68	+8.281,81
20	2.800	18.460,00	19.599,57	28.871,82	+9.272,25
21	2.900	18.460,00	19.640,27	29.902,95	+10.262,68
22	2.993	18.460,00	19.678,30	30.861,91	+11.183,61
23	3.000	18.460,00	19.681,15	30.934,09	+11.252,94

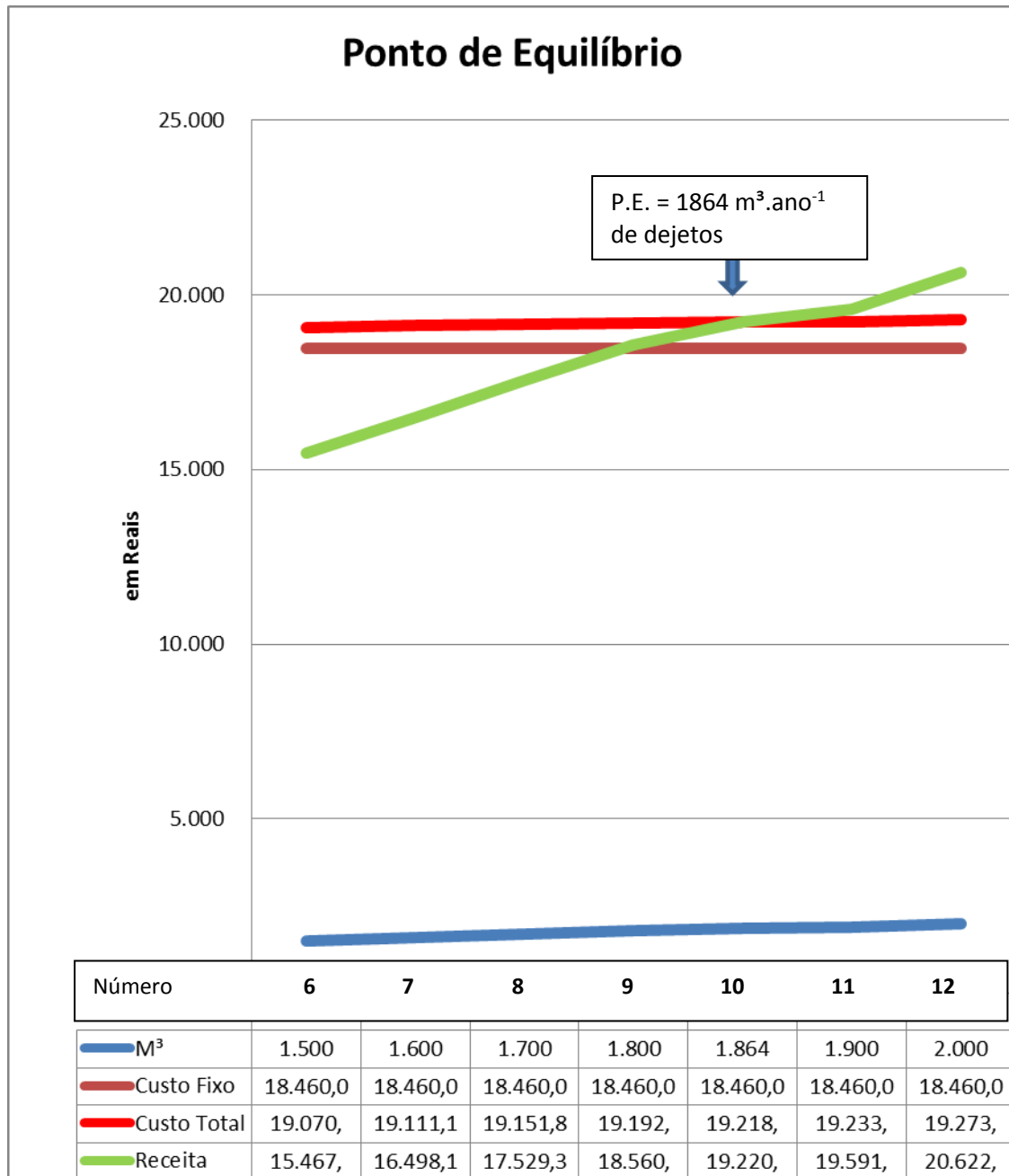


Figura 12: Representação do Ponto de equilíbrio econômico em função da produção anual de dejetos (m³).

O biodigestor implantado (255,7 m³) recebe um volume de carga diária de 8,2 m³, sendo a produção de dejetos de suínos é de 665,4 kg.dia⁻¹ e produção de dejetos humanos de 80 Kg.dia⁻¹, totalizando 745,4 Kg diariamente, evidenciando um excesso de água de lavagem das baias no que tange a suinocultura e um excesso de água referente as descargas dos sanitários no que se refere aos dejetos humanos, demonstrando uma abundante adição de água, considerando que para cada parte de dejetos de suínos deve ser misturado com duas partes de água antes de ser enviado ao biodigestor (LUCAS JUNIOR, et al, 2009).

Para a quantidade total de dejetos produzidos diariamente o biodigestor foi superdimensionado, com plenas condições de receber dejetos de um plantel de suínos 3 (três) vezes maior que o atual, gerando receitas maiores.

Conforme figura 16, fica demonstrado que com aumento do plantel as receitas teriam um aumento considerável, já em relação aos custos o aumento é tímido, evidenciando um maior lucro líquido.

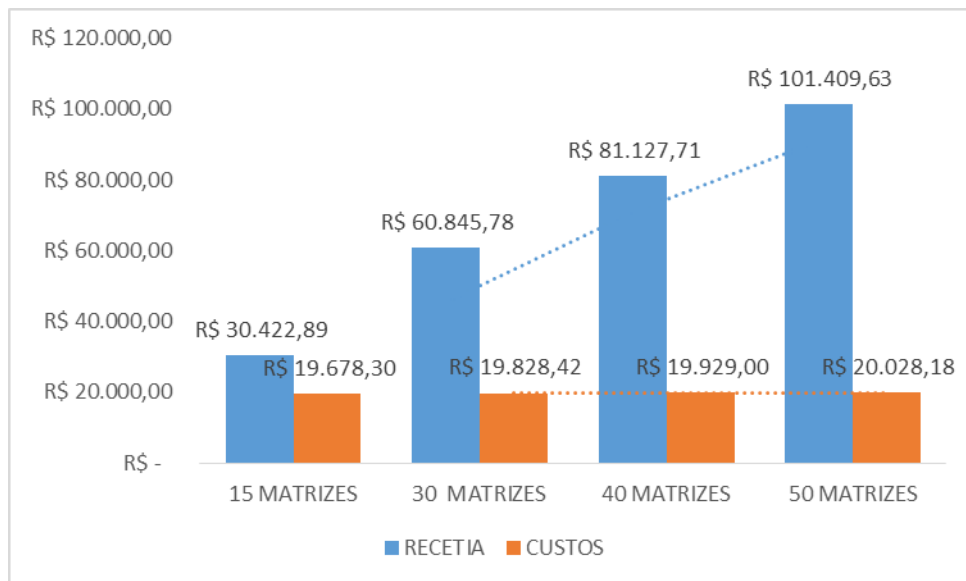


Figura 13: Produção de dejetos x receita

5 CONCLUSÃO

Com as informações e resultados demonstrados, destacam-se as seguintes conclusões:

- ⇒ O biofertilizante não apresentou ovos de helmintos, protozoários e nem salmonela, porém os níveis de coliformes foram superiores aos estabelecidos pela OMS, não devendo ser lançado em corpos d'água e nem utilizado para irrigação irrestrita;
- ⇒ O biofertilizante possui valor agrônômico, pois mostrou-se rico em nutrientes minerais;
- ⇒ Carga diária de dejetos é enviada para o biodigestor com excesso de água; atingindo uma proporção superior a 10 partes de água para cada parte de dejetos;
- ⇒ O investimento demonstrou-se viável, com tempo de amortização de 5 anos, 11 meses e 23 dias.
- ⇒ O aumento do plantel de suínos traz maiores receitas, melhorando sobremaneira os resultados econômicos.

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S.C.A., FRANÇA, V.C., MAURO JUNIOR, L. **Estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental de utilização de biodigestores em uma fazenda no recreio dos Bandeirantes, RJ.** 7º Congresso Internacional sobre geração distribuída e energia no meio rural, Fortaleza, CE. 2008

AMARAL, C.M.C. do; AMARAL, L.A. do; LUCAS JUNIOR, J. de; NASCIMENTO, A. A. do; FERREIRA, D. de S; MACHADO, M.R.F. **Biodigestão anaeróbica de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica.** Ciência Rural. V.34, n.6. Santa Maria. 2004.

BARREIRA, Paulo. **Energia, fertilidade e saneamento para a zona rural.** Editora Ícone. 2011. 108 p

BARROS, Talita Delgrossi. Agroenergia- Biogás. Campinas: Ageitec – Agência Embrapa de Informação Tecnológica. 2011. Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vn102wx5eo0sawqe3qf9d0sy.html> Acesso em 02 de nov 2014.

BASTOS, R. K. X., BEVILACQUA, P. D. Normas e critérios de qualidade para reúso da água. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (coord). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, RiMa. PROSAB. 2006.

BETTIOL, W; CAMARGO, A de C.; “Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto” In: SPADOTTO, C.A.; RIBEIRO, W.C. **Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria.** Botucatu: FEPAF, 2006. P. 181 – 204.

BIODIGESTOR TUBULAR DE FLUXO CONTÍNUO. Disponível em: <http://www.iengep.com.br/images/dejetos_biodigestor.gif>. Acesso em. 22 Jun. 2015.

BLEY JUNIOR, C.; LIBÂNIO, J.C.; GALINKIM, M.; OLIVEIRA, M.M.; **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais.** 2ª ed. rev. – Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, TechnoPolitik Editora, 2009. 140 p.

BRANDÃO, V. S. et al. Tratamento de águas residuárias da suinocultura utilizando-se filtros orgânicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 327-333, 2000.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. VALADARES, J.M.A.S. (1986). **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Boletim Técnico nº 106, Campinas, Instituto Agrônomo.

CAMPOS, C. M. M. et al. Avaliação do potencial de produção de biogás e da eficiência de tratamento do reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) alimentado com dejetos de suínos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 848-856, jul./ago. 2005.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITKE, B. H. **Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial**. 9ª ed. São Paulo: Atlas, 2006.

CERVI, R.G. **Avaliação econômica do aproveitamento do biogás e biofertilizante produzido por biodigestão anaeróbia: estudo de caso em unidade biointegrada**. 2009. 57 f. (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

CETESB (1989). Helminthos e Protozoários patogênicos – Contagem de ovos e cistos em amostras ambientais. Método de ensaio L5.550

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

CORDEIRO, G.G. **Qualidade de água para fins de irrigação (Conceitos básicos e práticas)** Petrolina, PE: Embrapa Semi árido, 2001, 32p.

COSTA, Luiz Guilherme Tinoco Aboim; PEREIRA, Agnaldo Santos; COSTA, Luiz Rodolfo Tinoco Aboim. **Análise de Investimentos**. Curitiba: IESDE Brasil S/A, 2012. 432 p.

SILVA, W.T.L.; NOVAES, A.P.; KUROKI, V.; MARTELLI, L.F.A.; JUNIOR. L.M.; Avaliação Físico-Química de efluente gerado em biodigestor anaeróbico para fins de avaliação e aplicação como fertilizante agrícola. *Química Nova*, São Paulo. Vol. 35, nº 1, 2012, Disponível em: http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=3500 acesso em 17 mar 2015.

DE CARLI, G. A. Parasitologia clínica: seleção de métodos e técnicas de laboratório para o diagnóstico das parasitoses humanas. 2ª ed. São Paulo: Aheneu, 2007.

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

DIESEL, R; MIRANDA C. R; PERDOMO, C. C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos**, Boletim Informativo Pesquisa & Extensão-BIPERS, ANO 10, no 14 2002, Embrapa Suínos e Aves e Extensão-EMATER/RS.

ESPERANCINI, M. S. T. et al. **Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do Estado de São Paulo**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p.110-118, 2007.

FACTOR, T.L.; ARAÚJO, J.A.C. de; VILLELA JUNIOR, L.V.E. **Produção de pimentão em substratos e fertirrigação com efluente de biodigestor**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. – v.12, n. 2. Campina Grande-PB. 2008.

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

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo - PR**. 2003. 106 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Estratégia Organizacional)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

HOJI, M. Administração Financeira e Orçamentária. São Paulo: Atlas, 2010.

JUNGES, D. M; KLEINSCHMITT, S.C; SHIKIDA, P.F.A, SILVA, J.R da. **Análise econômico-financeira da implantação do sistema de biodigestores no Município de Toledo (PR)**. Revista de Economia. Editora UFPR, V.35, n.1, p.7-30, Jan-Abr. 2009.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes Orgânicos**: Piracicaba: Agronômica Ceres Ltda. 1985. 492p.

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

KUNZ, A.; PERDOMO, C.C.; OLIVEIRA, P.A. de; **Biodigestores: Avanços e Retrocessos**. – Embrapa Suínos e Aves. Disponível em: << <http://www.cnpsa.embrapa.br>>> Acesso em 11 de Dezembro de 2013.

KUNZ, A; OLIVEIRA, P.A.; HIGARASHI, M.M.; **Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil**. Cadernos de Ciências & Tecnologia, Brasília, v. 22, n. 3, p. 651-665, set/dez. 2005.

LAPPONI, Juan Carlos. **Projetos de investimento: construção e avaliação do fluxo de caixa: Modelos em Excel**. São Paulo: Laponni Treinamento e Editora, 2000.

LUCAS JÚNIOR, J.; SOUZA, C. de F. **Construção e operação de biodigestores**. Viçosa-MG, CTP, 2009.

LUCAS JÚNIOR, J.; SOUZA, C.F.; LOPES, J.D.S.; “**Construção e operação de Biodigestores**”. Viçosa-MG. CPT. 2009. 158 p.

LUCAS JÚNIOR, J. **Potencial de geração de biogás dos resíduos animais: perspectivas**. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE ANIMAIS, 1. 2009, Florianópolis. Anais...Florianópolis: SBERA, 2009. 1 CD-ROM.

LUSTE, S; LUOSTARINEN, S. Anaerobic co-digestion of meat-processing by-products and sewage sludge: effect of hygienization and organic loading rate. **Bioresource Technology**, Oxford, v.101, n.8,p.2657-2664, Apr. 2010.

LOPES, W.S.; LEITE, V.D.; PRASAD, S. Influence of inoculum on performance of anaerobic reactors for treating municipal solid waste. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 94, n.3, p. 261-266, Mar. 2004.

MEDEIROS, M. B.; LOPES, J. da S. Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola. **Revista Bahia Agrícola**, v.7 n3 p. 24-26, nov. 2006.

MIRANDA, M.J. et al. A classificação climática de Köppen para o Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informações/clima-dos-municipios-paulistas.html> Acesso em 05Out.2015.

NUVOLARI, A. **Esgoto sanitário**: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. Edgard Blucher: São Paulo, 2003.

OLIVEIRA, P. A. V. de et al. Uso dos resíduos de sistema de crescimento e terminação de suínos para a produção de biogás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE VETERINARIOS ESPECIALISTAS EM SUÍNOS, 12., 2005, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ABRAVES, 2005. p. 512-513.

OLIVEIRA, P.A.V. de. Embrapa Suínos e Aves. **A Escolha do sistema para os manejos dos dejetos de suínos**: Uma difícil decisão. <<<http://www.cnpsa.embrapa.br>>> acesso em 16/12/2013.

OLIVEIRA, P.A.V. de et al. Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: Manual de boas práticas. Concórdia: Gestão Integrada de Ativos Ambientais, 2004. Cap. 4, p.42-55.

OLIVEIRA, P.A.V. de. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concordia: Embrapa – CNPSA, 1993. 188p. (EMBRAPA – CNPA. Documentos, 27).

ORRICO JUNIOR, M.A.P.; ORRICO, A.C.A.; LUCAS JUNIOR, J. **Biodigestão anaeróbica de dejetos de suínos com e sem separação da fração sólida em diferentes tempos de retenção hidráulica**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.29, n.3, p.474-482, maio-junho.2009.

ORTOLANI, A.F.; BENINCASA, M.; LUCAS JR., J. **Biodigestores rurais modelos indiano, chinês e batelada**. Jaboticabal: FUNEP. 1991. 35p.

PALHARES, Julio C.P. Biodigestão anaeróbica de dejetos suínos: aprendendo com o passado para entender o presente e garantir o futuro. 2008. Artigo em Hipertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/artigos/2008_1/Biodigestao/index.htm>.

PALHARES, J.C.P. **Biodigestores, a solução?** – Revista: Suinocultura Industrial – nº 07 – 2007 – Ed. 208, ano 30.

PATZA, E. **Aplicação de modelos matemáticos para definição de parâmetros hidráulicos e cinéticos de tanques sépticos**. 2006. 199 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

PEREIRA, E. R.; DEMARCHI, J. J. A. A.; BUDIÑO, F. E. L. A questão ambiental e os impactos causados pelos efluentes da suinocultura. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2009_3/QAmbiental/index.htm. Acesso em: 12 jul. 2014.

PEREIRA, E. L.; CAMPOS, C. M. M.; MOTERANI, F. Avaliação do desempenho físico-químico de um reator UASB construído em escala piloto na remoção de poluentes de efluentes de suinocultura. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 5, n. 1, p. 79-88, 2010.

PINTO, CLÁUDIO PLAZA. Tecnologia da Digestão Anaeróbica da Vinhaça e Desenvolvimento Sustentável, Dissertação de Mestrado - 144 pp. Orientado por Luís Augusto Barbosa Cortez, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas, 1999.

PRATI, L. **Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores**. 2010. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

QUADROS, D.G. de; OLIVER, A. de P. M.; REGIS, U.; VALLADARES, R.; SOUZA, P.H.F. de; FERREIRA, E. de J. **Biodigestão anaeróbica de dejetos de caprinos e ovinos em reator contínuo de PVC flexível**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental – Vol. 14, nº 3, Campina Grande-PB. 2010.

REBELATTO, D. **Projeto de Investimento**. São Paulo: Manole, 2004.

SANTOS, M. L. F. (Coord.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

SCHULTZ, G. **Boas Práticas Ambientais na Suinocultura**. Porto Alegre: SEBRAE/RS, 2007. 44 p. Disponível em: <<http://www.sebrae-rs.com.br>> Acesso em: 10 abri. 2014.

SILVA, M.S. **Biodigestão anaeróbica no saneamento rural**. – Lavras: UFLA/FAEPE, 2001, p.34-70.

SOARES, H.M. **Digestão anaeróbia de efluentes de fábricas de cervejas e refrigerantes em reator tipo fluxo ascendente com manta de lodo (UASB)**.1990. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. Local, 1990.

SOUZA, C. F.; LUCAS JÚNIOR, J. ; FERREIRA, W.P.M. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato - considerações sobre a partida**. Engenharia Agrícola, v.25, n.2. 2005

SUNDH, I. et. al. Effects of glucose overloading on microbial community structure and biogas production in a laboratory-scale anaerobic digester. **Bioresource Technology**, Oxford, v.89, n.3, p.237-243, Mar. 2003.

TONETTI, A. L.; FILHO, B.C.; BERTONCINI, E. I.; OLIVEIRA, R.A.O.; STEFANUTTI, R. **Avaliação de um sistema simplificado de tratamento de esgotos visando à utilização em áreas rurais**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. – vol. 14. n° 2. Campina Grande-PB. 2007.

VIEIRA, R. H. S. S. **Microbiologia, higiene e qualidade**. Teoria e prática. São Paulo: Varela, 2004. 380 p.

VILELLA Jr. L.V.E.; ARAÚJO, J.A.C. de; BARBOSA, J.C.; PEREZ, L.R.B. **Substrato e solução nutritiva desenvolvida a partir de efluente de biodigestor para cultivo do meloeiro**. Revista Brasileira de Engenharia e Ambiental – v.11, n.º 2. Campina Grande-PB. 2007.

WARREN, Carl S., REEVE James M., FESS Philip E. **Contabilidade gerencial**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

WEISS, A. et. al. Investigation of factors influencing biogas production in a large-scale thermophilic municipal biogas plant. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v.84, n.5, p.987-1001, May 2009.

WHO. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**: Wastewater in Use in Agricultural. vol. 2. Geneva. 2006.