



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS

CAMPUS BAMBUÍ

CARLOS ROBERTO DE SOUSA COSTA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DO USO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS
NA PRODUÇÃO DE AVES**

BAMBUÍ-MG

2016



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS

CAMPUS BAMBUÍ

CARLOS ROBERTO DE SOUSA COSTA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DO USO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS
NA PRODUÇÃO DE AVES**

Dissertação apresentada ao Instituto Federal de Minas Gerais como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental para obtenção do título *Magister Scientiae*.

Área de Concentração: Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Carlos Fernando Lemos, Dr.

BAMBUÍ-MG

2016

FICHA CATALOGRÁFICA

C837a Costa, Carlos Roberto de Sousa.
Análise de viabilidade do uso de energias renováveis na produção de aves. / Carlos Roberto de Sousa Costa. – 2016.
120 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Fernando Lemos.
Dissertação de mestrado (Pós-graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, 2016.

1. Energia alternativa. 2. Avicultura. 3. Viabilidade. 4. Metano. I. Lemos, Carlos Fernando. II. Título.

CDD 333.7938



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS

Avenida Professor Mário Werneck, nº. 2590, Bairro Buritis, Belo Horizonte, CEP 30575-180,
Estado de Minas Gerais



FICHA DE APROVAÇÃO

Dissertação de Mestrado, intitulada “Análise de viabilidade do uso de energias renováveis na produção de aves”, de autoria do mestrando em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental **Carlos Roberto de Sousa Costa**, aprovada pela banca examinadora, em 18/11/2016.

Prof.º Dr. Carlos Fernando Lemos - Orientador

Prof.º Dr. Arnaldo Freitas de Oliveira Júnior – CEFET - MG

Prof.º Dr. Hygor Aristides Victor Rossoni – UFV/Florestal

Prof. Dr. Gustavo Augusto Lacorte

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental
do IFMG

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação a minha família, pela fé e confiança demonstradas. Aos meus amigos, pelo apoio incondicional. Aos professores, pelo simples fato de estarem dispostos a ensinar. Aos orientadores, pela paciência demonstrada no decorrer do trabalho. A todos que, de alguma forma, tornaram este caminho mais fácil de ser percorrido.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus a permissão para que tudo isso acontecesse, não somente nestes anos de mestrado, mas em todos os momentos, pois Ele é o maior mestre que alguém pode conhecer.

Ao IFMG, seu corpo docente, direção e administração, que oportunizaram a janela onde hoje vislumbro um horizonte superior, eivado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presentes.

Ao professor Dr. Carlos Fernando Lemos, pela orientação, apoio e confiança.

Agradeço principalmente a minha esposa e ao meu filho, que, nos momentos de minha ausência dedicada ao estudo, me apoiaram e me deram toda a força necessária para alcançar mais este objetivo!

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais volta ao seu tamanho original.”

Albert Einstein

RESUMO

O presente estudo foi desenvolvido no IFMG-*Campus* Bambuí, localizado no Centro-Oeste mineiro. O objetivo foi analisar a viabilidade de implantação de sistemas de geração de fontes alternativas de energias renováveis de forma a tornar o processo de criação de aves de postura e corte sustentável, assim como buscar a melhor relação custo-benefício para essa implantação. A metodologia do trabalho consistiu na realização das seguintes atividades: 1) levantamento dos volumes de resíduos orgânicos gerados na instituição e seu potencial energético; 2) análise experimental do potencial de geração do biogás formado por meio da biodigestão da cama de frango e excreta de poedeiras e da quantidade média desses resíduos em cada processo produtivo. Para isso, foram construídos biodigestores experimentais de batelada que seguiram os procedimentos padrão de produção, sendo utilizadas baias e gaiolas experimentais para coleta da matéria orgânica; 3) realização de um estudo de viabilidade financeira que utilizou as técnicas de análise de investimento *Pay Back* descontado, Taxa Interna de Retorno, Valor Presente Líquido e Índice Benefício Custo. Após a análise dos dados, foram dimensionados os sistemas de geração de energia alternativa, iniciando-se pelo dimensionamento de um sistema de biodigestão. Verificou-se também a necessidade da inserção de um sistema complementar para eliminar 100% do uso de energia elétrica da concessionária no processo produtivo, sendo analisados os sistemas de energia eólica e solar. O sistema eólico foi descartado devido à velocidade do vento no local de instalação da granja ser de 1,03 m/s, velocidade esta inferior à 5m/s. A análise financeira considerou três cenários, sendo o primeiro a substituição das atuais lâmpadas fluorescentes por lâmpadas do tipo LED, com valor de investimento de R\$ 1.540,00, *Payback* de aproximadamente 07 meses e economia durante o *cash flows* de R\$ 35.015,68; O cenário 2, a implantação de um sistema de biodigestão e a troca das lâmpadas do tipo fluorescentes pelas do tipo LED, contemplada no cenário 01, com o valor de investimento de R\$ 23.190,10, *Payback* do investimento de aproximadamente quatro anos e seis meses e economia durante o *cash flows* de R\$ 43.038,08. O cenário 3, que consiste na complementação do cenário 2 com a instalação de um sistema de energia solar com custo para implantação total de R\$ 124.046,10, *Payback* do investimento de doze anos e economia durante o *cash flows* de R\$ 410.747,27. Todos os cenários mostraram-se promissores. Como resultado do estudo, foi possível demonstrar a existência de viabilidade técnica, financeira e ambiental para implantação de todos cenários propostos.

Palavras – chave: Energia alternativa – Avicultura – Viabilidade – Metano.

ABSTRACT

This study was developed in IFMG- *Campus* Bambuí-MG, located in the Midwest of Minas Gerais state and focuses on the production processes of poultry meat and eggs. The objective was to analyze the implementation feasibility of generating systems of alternative sources of renewable energy in order to make the process of poultry posture and more sustainable harvesting, and seek the best value for money for this deployment. The methodology of work consisted of the following activities: 1) Survey of organic waste volumes generated in the institution and the energy potential of waste; 2) Experimental analysis of potential of biogas generation resultant by the biodigestion of poultry litter and excreta of laying and the average volume of such waste in each production process. To perform these analysis, experimental biodigesters of batch loads were built following the standard procedures of production and were used bays and experimental cages for collection of organic matter. 3) Conducting a financial feasibility study that used the Pay Back investment analysis techniques discounted IRR (Internal Rate of Return), NPV (Net Present Value) and BCR (Benefit-Cost Ratio) After analyzing the data, alternative energy generation systems were dimensioned, starting by designing a biodigestion system. Through the analysis of biogas conversion potential generated energy, it was identified there was the need to insert a complementary system to eliminate 100% of the use of concessionary's electricity in the production process, as alternatives, the wind power systems and solar were analyzed. The use of wind power system has been discarded due to the low wind speed at the site of the grange installation, 1,03 m/s . The financial analysis considered three scenarios, the first being the replacement of existing fluorescent lamps with LED lamps, with investment value of US\$ 461,67, payback of approximately 07 months and savings during cash flows of US\$ 10.779,03; Scenario 2, the implementation of a biodigestion system and the exchange of fluorescent lamps with LED type, contemplated in scenario 01, with an investment value of US\$ 7.138,49, an investment payback of approximately four years and six Months and savings during the cash flows of US\$ 13.249,01. The scenario 3, which consists of complementing scenario 2 with the installation of a solar energy system with a total cost of US\$ 38.203,30, a 12-year investment payback and savings during the cash flows of US\$ 126.379,89. All scenarios were promising. As a result of the study, it was possible to demonstrate the existence of technical, financial and environmental feasibility to implement all proposed scenarios.

Keywords: Renewable energy- Poultry farming- Biodigesters - Methane.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Gráfico das fontes de geração de energia no mundo ano-base 2010	25
Figura 2– Gráfico das fontes de geração de energia no Brasil ano-base 2014.....	26
Figura 3- Etapas para produção Anaeróbica de Biogás.....	32
Figura 4 - Representação de cálculo de <i>payback</i> pelo método simples ou nominal	40
Figura 5- Representação de cálculo de VPL em calculadora HP12C	43
Figura 6– Representação de cálculo da TIR em calculadora HP12C.....	45
Figura 7 - Foto da Vista aérea do IFMG- <i>Campus</i> Bambuí com a localização dos pontos de geração de resíduos.....	49
Figura 8 - Baias de teste de geração de cama de frango.....	50
Figura 9 - Cama de frango recolhida para análise de volume de geração	51
Figura 10 - Gaiola de teste para coleta de excretas das galinhas poedeiras	51
Figura 11 - Croqui da unidade de Biodigestão experimental	53
Figura 12 - Unidade de Biodigestão experimental	53
Figura 13- Garrafas PET.....	56
Figura 14 - Mangueiras 6mm	56
Figura 15- tubo de PVC.....	57
Figura 16 - Analisador de gás.....	57
Figura 17 - Moagem: moinho e mistura final.....	58
Figura 18 - Secagem dos cadinhos	59
Figura 19 - Pesagem e diluição	59
Figura 20 - Dosagem das diluições nos cadinhos.....	59
Figura 21 - Estufa de pré-secagem	60
Figura 22 - Secagem do material na estufa.....	60
Figura 23- Calcinação das amostras	61
Figura 24- Gráfico da Produção de resíduos IFMG-Bambuí	70

Figura 25 – Foto Vista aérea do IFMG- <i>Campus</i> Bambuí – Localização dos galpões da Avicultura.....	72
Figura 26 - Vista aérea do IFMG- <i>Campus</i> Bambuí – local indicado para a instalação biodigestor	72
Figura 27 - Gráfico da Geração de biogás com diferentes concentrações de biomassa.....	81
Figura 28 - Croqui da base do biodigestor modelo canadense.....	85
Figura 29 – Foto do Biodigestor modelo canadense	85
Figura 30 - Gráfico da Velocidade do vento na região das granjas.....	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BPPF – Boas Práticas de Produção de Frangos

CEFET- Centro Federal de Educação Tecnológica

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

IBC – Índice Benefício-Custo

IFMG - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais

LED- Lighting Emitted Diodes

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

PCI – Poder Calorífico Inferior

PET - Poli Tereftalato de Etileno

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PVC - Poli Cloreto de Vinila

RU – Restaurante Universitário

TIR - Taxa Interna de Retorno

TMA - Taxa Mínima de Atratividade

VPL – Valor Presente Líquido

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição química padrão do biogás.....	29
Tabela 2 - Comparação dos biodigestores.....	31
Tabela 3 - Representação de cálculo de <i>payback</i> pelo método descontado ou presente líquido	41
Tabela 4- Representação de planilha de Excel para cálculo de VPL	44
Tabela 5 - Representação de planilha para cálculo de TIR	46
Tabela 6- Disposição dos biodigestores experimentais.....	55
Tabela 7 - Levantamento da geração de resíduos orgânicos no Laboratório de Suinocultura .	64
Tabela 8 - Levantamento da geração de resíduos orgânicos no Laboratório de Bovinocultura	65
Tabela 9 - Levantamento da geração de resíduos orgânicos no R.U.....	65
Tabela 10 - Geração de cama de frango (corte).....	66
Tabela 11 - Geração de cama de frango (postura leve)	66
Tabela 12 - Geração de cama de frango (postura semipesada)	67
Tabela 13 - Geração de resíduos orgânicos de avicultura	67
Tabela 14 - Levantamento da geração de resíduos orgânicos no setor de Caprinocultura.....	67
Tabela 15 - Geração de resíduos orgânicos no IFMG- <i>Campus</i> Bambuí.....	68
Tabela 16 - Rendimento do biogás em cada resíduo orgânico	68
Tabela 17 - Potencial de geração de biogás/Metano	69
Tabela 18 - Potencial de geração de energia em MW	69
Tabela 19 - Fontes de consumo de energia no processo de avicultura de corte	73
Tabela 20 - Consumo mensal de energia elétrica no processo de avicultura de corte	73
Tabela 21 - Fontes de consumo de energia no processo de avicultura de postura	74
Tabela 22- Consumo médio mensal de energia elétrica no processo de avicultura de postura	75
Tabela 23 - Consumo total anual de energia nos processos de avicultura	75
Tabela 24 - Comparação dos tipos de lâmpadas mais usadas no processo de avicultura.....	77

Tabela 25 - Dados de sólidos das amostras em mg/litro	79
Tabela 26 - Geração em m ³ de biogás nos experimentos	79
Tabela 27 - Resumo do teste de Anova: fator único da geração de biogás	80
Tabela 28 - Teste de Anova: fatores estatísticos na geração de biogás	80
Tabela 29 - Teste de comparação das médias: volume de biogás gerado em diferentes diluições.....	80
Tabela 30 - Concentração média de metano nas amostras medidas com analisador de gás	82
Tabela 31 - Geração de biogás prevista.....	82
Tabela 32 - Levantamento do custo médio dos materiais do biodigestor	86
Tabela 33 - Levantamento do custo médio da mão de obra de instalação do biodigestor	86
Tabela 34 - Despesas atuais dos processos de corte e postura	92
Tabela 35 - Investimentos em equipamentos	93
Tabela 36 - Despesas anuais ajustadas	94
Tabela 37 - Fluxo de caixa projetado cenário 01.....	95
Tabela 38- Fluxo de caixa projetado cenário 01.....	96
Tabela 39 - Fluxo de caixa projetado cenário 02.....	97
Tabela 40 - Apuração de Pay back cenário 01	98
Tabela 41 - Apuração de <i>Pay back</i> cenário 02	98
Tabela 42 - Apuração de <i>Pay back</i> cenário 03	99
Tabela 43 - Apuração de VPL Cenário 1	100
Tabela 44 - Apuração de VPL Cenário 2	100
Tabela 45 - Apuração de VPL Cenário 3	101
Tabela 46 - Tabela 45 - Cálculo da TIR - Taxa Interna de Retorno (Cenário 01)	102
Tabela 47 - Cálculo da TIR - Taxa Interna de Retorno (Cenário 2).....	102
Tabela 48 - Cálculo da TIR - Taxa Interna de Retorno (Cenário 3).....	103
Tabela 49 - Apuração do IBC Cenário 01 - valor nominal	104
Tabela 50 - Apuração do IBC Cenário 01 - valor descontado.....	104

Tabela 51 - Apuração do IBC Cenário 02 - valor nominal	105
Tabela 52- Apuração do IBC Cenário 02 - valor descontado.....	105
Tabela 53 - Apuração do IBC Cenário 03 - valor nominal	105
Tabela 54 - Apuração do IBC Cenário 03 - valor descontado.....	105
Tabela 55 - Comparação dos cenários propostos	109

LISTA DE EQUAÇÃO

Equação 1 - <i>Payback</i>	40
Equação 2 - Valor Presente Líquido (VPL).....	42
Equação 3 - Taxa Interna de Retorno (TIR).....	45
Equação 4 - Volume de gás produzido	54
Equação 5 - Sólidos Totais	61
Equação 6 - Sólidos Voláteis.....	61
Equação 7 - Sólidos Fixos Totais	61
Equação 8 - Potencial de geração de biogás e de metano a partir dos resíduos sólidos.....	68
Equação 9 - Potencial de geração de energia	69
Equação 10 - Volume de carga do biodigestor.....	84
Equação 11 - Volume do biodigestor	84

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. OBJETIVO GERAL	20
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1. AVICULTURA NO BRASIL	21
3.1.1. <i>História</i>	21
3.1.2. <i>Sistemas de produção na avicultura</i>	22
3.1.3. <i>Processo de produção de aves de corte e postura</i>	23
3.2. CENÁRIO ENERGÉTICO MUNDIAL	24
3.3. MATRIZ ENERGÉTICA NO BRASIL	25
3.4. RESÍDUOS SÓLIDOS	26
3.5. ENERGIAS ALTERNATIVAS	28
3.5.1 <i>Geração de biogás</i>	28
3.5.1.1 Biodigestor	30
3.5.1.2 Biofertilizante	32
3.5.1.3 <i>Uso de cama de frango para produção de biogás</i>	33
3.5.2 <i>Energia solar</i>	35
3.5.3 <i>Energia eólica</i>	36
3.6. <i>Sustentabilidade</i>	36
3.6.1 SUSTENTABILIDADE NA AVICULTURA	38
3.7. ESTUDO DE VIABILIDADE	39
3.7.1 <i>Estudo de viabilidade financeira</i>	39
3.7.1.1 <i>Payback</i>	40
3.7.1.2 <i>Valor Presente líquido (VPL)</i>	42
3.7.1.3 <i>Taxa Interna de Retorno (TIR)</i>	44
3.7.1.4 <i>Índice Benefício-Custo (IBC)</i>	46
3.7.2. <i>Estudo de viabilidade ambiental</i>	47
3 MATERIAIS E MÉTODOS	48
4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	48
4.2 LEVANTAMENTO E QUANTIFICAÇÃO DAS FONTES GERADORAS DE RESÍDUOS ORGÂNICOS	48
4.3. MONTAGEM DOS BIODIGESTORES EXPERIMENTAIS	52
4.3.1 MATERIAIS PARA FABRICAÇÃO DOS BIODIGESTORES EXPERIMENTAIS	55
4.4. PROJETO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.....	62
4.5. PROJETO DE AEROGERADORES	62
4.6. ESTUDO DE VIABILIDADE FINANCEIRA	62
4.7. LIMITAÇÕES DE ESTUDO.....	63
5. RESULTADO E DISCUSSÃO	64

5.1.	LEVANTAMENTO DO POTENCIAL ENERGÉTICO	64
5.1.1.	<i>Laboratório de Suinocultura</i>	64
5.1.2.	<i>Bovinocultura</i>	65
5.1.3.	<i>Resíduo orgânico Restaurante (R.U)</i>	65
5.1.4.	<i>Cama de frango aves</i>	66
5.1.5.	<i>Esterco caprino</i>	67
5.2.	ANÁLISE DOS TIPOS DE BIODIGESTOR MAIS INDICADOS	70
5.3.	LOCAL DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE GÁS	71
5.4.	NECESSIDADE ENERGÉTICA DOS PROCESSOS	73
5.4.1.	<i>Avicultura de corte</i>	73
5.4.2.	<i>Avicultura de postura</i>	74
5.4.3.	<i>Consumo total de energia</i>	75
5.5.	ANÁLISE DAS FONTES DE CONSUMO	76
5.5.1.	<i>Iluminação</i>	76
5.5.2.	<i>Alimentação animal</i>	78
5.5.3.	<i>Climatização</i>	78
5.7.	DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR	79
5.7.1.	<i>Volume de biogás produzido</i>	79
5.7.2.	<i>Escopo de projeto</i>	84
5.8.	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	86
5.9.	DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA EÓLICO	89
5.10.	ANÁLISE FINANCEIRA	90
5.10.1.	<i>Gastos atuais</i>	92
5.10.2.	<i>Investimento</i>	92
5.10.3.	<i>Taxa de desconto</i>	94
5.10.4.	<i>Fluxo de caixa projetado</i>	95
5.10.5.	<i>Pay back</i>	97
5.10.6.	<i>Valor Presente Líquido – VPL</i>	99
5.10.7.	<i>Taxa Interna de Retorno – TIR</i>	102
5.10.8.	<i>Índice Benefício Custo (IBC)</i>	103
6.	ASPECTO FINANCEIRO	107
6.1.2.	<i>Avaliação pelo método payback</i>	107
6.1.2.	<i>Avaliação pelo método VPL</i>	108
6.1.3.	<i>Avaliação pela TIR</i>	108
6.1.4.	<i>Avaliação pelo IBC</i>	109
6.1.5.	<i>Resultado da análise financeira</i>	109
7.	ASPECTO AMBIENTAL	111
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	112
8.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	113
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114

1. INTRODUÇÃO

Após o fim da Segunda Guerra Mundial, o consumo de produtos da avicultura cresceu de forma expressiva. Os principais fatores que contribuíram para esse crescimento foram o desenvolvimento de novas tecnologias de criação e nutrição animal para o aumento da produção e abastecimento das tropas durante a guerra. Os estudos realizados para o desenvolvimento dessas tecnologias possibilitaram crescimento acelerado das aves e, conseqüentemente, do volume de produção.

As aves são animais que consomem grande volume de alimento em um curto espaço de tempo e, desta forma, tem-se elevado consumo de matérias-primas e alta produtividade de carne, o que leva a expressiva geração de resíduos (MICHELS e GORDIN, 2014).

Os dejetos da avicultura, tanto os de postura quanto os de corte, são chamados de cama de frango. Os frangos de corte são alocados sobre uma superfície coberta de material absorvente que pode ser: casca de arroz, maravalha, casca de amendoim, palhas, dentre outros. As galinhas de postura são alocadas em gaiolas elevadas para evitar o contato dos animais com contaminantes, e a excreta pode ou não ser lançada sobre material absorvente. O acondicionamento e a destinação correta destes resíduos devem ser prioritários no processo de avicultura, pois estes resíduos podem contaminar o solo e a água (ABEPA, 2016).

Por se tratar de um processo contínuo e acelerado, o controle da incidência de luz sobre os animais deve ser intensivo. Por isso, os aviários possuem sistemas de iluminação artificial para garantir o atendimento dessa necessidade, gerando, assim, um considerável consumo de energia elétrica. O processo consome também energia para climatização dos galpões, por meio de ventiladores para os dias quentes e aquecedores para os dias frios (ABEPA, 2016).

O presente estudo visa utilizar fontes de energia renovável para suprir a demanda de energia para sistemas de produção de avicultura, assim como buscar o uso de novas tecnologias que reduzam o consumo de energia no processo.

A procura por novas fontes de geração de energia tem sido um dos grandes desafios da atualidade. No Brasil, apesar do uso dos combustíveis fósseis, que compõem em maior proporção a matriz energética dos veículos automotores, a geração de energia elétrica é pelas hidroelétricas, que têm como base um processo de geração de energia renovável, mas para a qual o processo é totalmente dependente dos ciclos pluviométricos. Esta dependência tem como consequência problemas relacionados ao abastecimento durante os grandes períodos

de estiagem que vêm ocorrendo nos últimos 10 anos, quando os reservatórios têm apresentado redução considerável em seus níveis (UCZAI, 2012).

Das várias alternativas existentes para a geração de energia, uma das mais indicadas é o uso de materiais que seriam descartados após o uso; dentre eles, os resíduos sólidos orgânicos (SOTTI, 2014).

Os resíduos sólidos orgânicos podem ser transformados através da biodigestão em meio anaeróbico, que tem como produto um adubo orgânico de excelente qualidade e o biogás, que é composto de aproximadamente 70% de metano (AMORIM; PALHA; SILVA, 2012).

O uso do biogás é uma das alternativas para maximizar a matriz energética, pois ele é gerado a partir de materiais que seriam descartados. Deve-se destacar ainda que, caso os resíduos orgânicos não sejam tratados, ocorre o aumento da emissão de gás metano para a atmosfera – o qual é cerca de 20 vezes mais poluente que o CO₂. Dessa forma, pode-se afirmar que o uso de resíduos sólidos orgânicos traz, no mínimo, três ganhos expressivos para a sociedade: redução da queima de combustíveis fósseis para geração de energia, a redução do consumo de adubos minerais para correções de solo e a redução do volume de contaminantes (resíduos sólidos orgânicos e gases de decomposição) lançados de forma inadequada no ambiente (UCZAI, 2012).

Outra fonte renovável de geração de energia é o uso de células fotovoltaicas. Esses equipamentos têm a capacidade de converter a luz solar em energia elétrica, e seu uso tem sido difundido com muita intensidade em todo o mundo (ROSA, 2005).

A energia eólica, produzida a partir da força dos ventos, também tem grande potencial de geração de energia alternativa (ROSA, 2005). Devido à alta disponibilidade deste recurso natural, a viabilidade da implantação de equipamentos capazes de converter a energia eólica em energia elétrica foi analisada neste trabalho.

O estudo foi realizado no Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), *Campus* Bambuí, localizado no Centro-Oeste Mineiro, que possui características tipicamente agrícolas. Os laboratórios existentes no *campus*, além de atender a demanda pedagógica, ainda geram uma pequena produção de alimentos que abastece parcialmente o Restaurante Universitário. Estes processos produtivos geram rejeitos com um grande potencial energético, dentre os quais se destacam as excretas dos bovinos e suínos e a cama de frango, materiais que, juntamente com os resíduos orgânicos provenientes do processo de fabricação dos alimentos no restaurante, podem servir de base para produção de gás em biodigestor.

2. OBJETIVO GERAL

Realizar uma análise técnico-financeira da implantação de sistemas de geração de fontes de energias renováveis por meio do uso das tecnologias existentes atualmente para fabricação de biodigestores, sistemas fotovoltaicos e sistemas eólicos, de forma a tornar o processo de criação de aves de postura e corte sustentável, buscando, também, a melhor relação custo-benefício para essa implantação.

2.1. Objetivos específicos

1. Levantar o potencial energético contido nos resíduos sólidos orgânicos produzidos no IFMG-*Campus* Bambuí;
2. Levantar o consumo de energia no Setor de Avicultura do IFMG-*Campus* Bambuí;
3. Analisar as tecnologias atuais para melhoramento da eficiência energética dos processos de avicultura;
4. Dimensionar uma planta de geração e tratamento de biogás para uso do Setor de Avicultura do IFMG - *Campus* Bambuí, MG;
5. Dimensionar a geração e Uso de energia elétrica de um sistema fotovoltaico para uso nas instalações de avicultura;
6. Dimensionar a produção de energia elétrica por meio de um sistema de geração de energia eólica para uso nas instalações de avicultura;
7. Elaborar um estudo de viabilidade financeira e ambiental da implantação de sistemas de energia renováveis no Setor de Avicultura no *Campus* Bambuí.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Avicultura no Brasil

3.1.1. História

No Brasil, a avicultura tradicional e familiar sempre esteve presente, conhecida popularmente como criação de frango "caipira". Este tipo de criação visa ao suprimento das necessidades básicas da unidade familiar e, apenas o excedente, os produtos são comercializados (LOPES, 2011).

A história nos mostra que, somente no início do século XX, começou, em São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, o desenvolvimento tecnológico dessa atividade por meio do aperfeiçoamento de raças. O objetivo, na época, era criar animais de belas plumagens que seriam destinados à participação em concursos promovidos em todo o País. Somente a partir de 1960, no estado de Santa Catarina, granjeiros iniciaram a atividade comercial de avicultura, produzindo animais em larga escala com o objetivo de comercialização. Desse período em diante, a demanda por aves para comercialização interna e a exportação cresceram de forma significativa (LOPES, 2011).

Em 1980, devido à redução da exportação, decorrente da política de subsídios às exportações nos Estados Unidos e nos países da Europa, ocorreu uma retração do mercado. Somente a partir de 1985, a indústria adaptou-se ao novo estilo de vida da sociedade e deu início a um processo de modernização, melhoria da qualidade dos produtos e redução dos preços finais para os consumidores (LOPES, 2011).

A partir do século XXI, a avicultura vem apresentando um crescimento substancial, principalmente em relação ao volume de exportação. O crescimento das vendas somente foi possível devido ao melhoramento da qualidade da produção. Um dos principais fatores de destaque é o abate sob inspeção, que tem demonstrado um notável crescimento no Brasil. Em 2006, o número de aves abatidas sob inspeção estadual e federal representou 98% da produção nacional (ABEPA, 2016).

Em 2014 a produção brasileira de carne de frango alcançou o patamar de 12.690.000 toneladas. O Brasil tem um consumo per capita de carne de frango de 42,78 (Kg/hab.), sendo que Minas Gerais é responsável por 7,12 % do consumo total. De toda carne de frango produzida no Brasil, 68% é para consumo interno, e os 32% restantes são destinados à exportação. Com esses resultados, o Brasil é atualmente o terceiro maior produtor mundial

de carne de frango, ficando atrás somente dos Estados Unidos (1º lugar) e China (2º lugar). Entretanto, quando se fala em volume de exportação, o Brasil assume a primeira colocação, sendo a maior parte enviada para o Oriente Médio (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA ,2015)

Em relação à produção de ovos, segundo dados do MAPA (2015), a produção em 2014 foi de 37.245.133.103 unidades, sendo apenas 1% destinado à exportação. Os outros 99% restantes são para consumo interno, o que resulta em um consumo per capita de 182 unid/hab. Os dados também mostram que o estado de Minas Gerais é o segundo maior produtor de ovos, com 11,81% da produção nacional.

3.1.2. Sistemas de produção na avicultura

O presente trabalho foi realizado em um sistema intensivo de produção.

Segundo Lopes (2011), no Brasil são adotados três modelos de produção na avicultura de frangos de corte e galinhas de postura: extensivo, semi-intensivo e intensivo:

- a) Sistema extensivo: quando os frangos são criados em liberdade, podendo o animal procurar alimento além do fornecido pelo tratador. Este modelo de produção é adotado para criação em pequena escala e, normalmente, para fins de consumo na própria unidade produtora.
- b) Sistema semi-intensivo: também é conhecido como produção de pátio/quintal, onde os animais são acondicionados em um confinamento semiaberto, tendo cada área de produção bandos que variam entre 50 e 200 aves. Este modelo é utilizado para criação em pequena escala. Os locais onde as galinhas são confinadas são cercados por telas de arame e, dentro do espaço, é instalado um galinheiro que permite que as galinhas se protejam durante a noite. O criador das galinhas fornece praticamente toda a comida, água e demais necessidades.
- c) Sistema intensivo: este é o modelo de produção que exige maior investimento de capital. As aves são acondicionadas em galpão com alta densidade de animais por metro quadrado. Cada galpão acomoda milhares de frangos, e as necessidades nutricionais, controle das doenças, iluminação e climatização são fornecidos e controlados pelo criador.

3.1.3. Processo de produção de aves de corte e postura

Segundo dados do Protocolo de Boas Práticas de Produção de Frangos UBA (2008), a produção de frangos de corte com qualidade depende de uma série de fatores bem específicos. Somente com a criação de padrões que contemplem todos estes fatores, será possível obter uma competitividade global dos produtos.

No processo produtivo de aves de corte, existem alguns termos técnicos que definem conceitos importantes para o processo, sendo eles descritos como:

- ✓ Biosseguridade: é um conjunto de práticas de manejo que objetivam prevenir o contato das aves com microrganismos ou agentes patogênicos e, conseqüentemente, evitar doenças na granja.
- ✓ BPPF – Boas Práticas de Produção de Frangos.
- ✓ Cama – material absorvente utilizado sobre o piso do aviário para a criação de frangos de corte. Seu uso visa reduzir a umidade e também o contato dos animais com as excretas.
- ✓ Unidade de produção – é um local onde o frango de corte ou os insumos para a sua criação são produzidos.

Em relação à criação das galinhas de postura, o processo é dividido em fases, e cada uma delas é realizada em instalações específicas. Na fase inicial, normalmente a criação é realizada em sistema de piso, mas podem ser usadas, também, apesar de mais onerosas, gaiolas ou baterias. A etapa de recria é realizada em gaiolas. Para o maior conforto dos animais, a largura do galpão deve variar entre 8 e 12 metros, e o pé direito deve ter altura mínima de 2,8 metros. As galinhas são acondicionadas nas gaiolas de postura, onde recebem alimento e água, de acordo com as suas necessidades nutricionais, para obtenção de ovos com a qualidade necessária (LANA, 2000).

A criação de frangos de corte no sistema intensivo deve ser realizada em galpões, onde os animais ficam sobre a “cama de frango”. O tamanho destes galpões varia de acordo com a granja; entretanto, a largura de 12 metros e o comprimento de 100 metros são as medidas mais econômicas, pois correspondem ao equilíbrio zootécnico e econômico. Também se recomenda a construção de um beiral de 1,5 metros a 2,5 metros para proteger os animais das intempéries da natureza, como sol intenso e chuvas. Os galpões atuais são do tipo túnel que, com o fechamento das cortinas laterais e com o uso dos ventiladores, permitem que a massa de ar percorra mais uniforme por todo o interior do galpão. O controle térmico dentro dos galpões deve ser realizado pelo criador. Para isso, é essencial o

uso de ventiladores e nebulizadores nos dias quentes e aquecedores nos dias frios (LOPES, 2011).

Segundo Lopes (2011), para permitir a criação de galinhas de postura e frangos de corte, são necessários, além de área e estrutura bem dimensionada, alguns equipamentos considerados básicos para o processo:

- Bebedouros: equipamento responsável pelo fornecimento de água limpa e em temperatura agradável para as aves. Os mais utilizados são do tipo pendular, tipo pressão e nipple.
- Comedouros: equipamentos responsáveis pelo fornecimento de ração às aves. Os mais utilizados são manual tipo tubular, automático de corrente e automático tipo helicoidal.
- Ventiladores: equipamentos responsáveis pela renovação do ar dentro dos galpões e controle da temperatura. Podem ser usados modelos ventiladores ou exaustores.
- Silos: equipamento responsável pelo armazenamento da ração na granja.
- Cortinas: equipamento usado para controle de temperatura. Pode ser de cor amarela ou azul e, geralmente, o material utilizado é a ráfia.
- Nebulizador: equipamento responsável pelo controle de temperatura por meio da umidificação do ambiente; normalmente estão associados a ventiladores.
- Aquecedores: utilizados nos primeiros dias de vida da ave, permitindo maior conforto térmico dentro do galpão.
- Gaiolas: equipamento responsável pelo acondicionamento de galinhas poedeiras.
- Ninhos: equipamentos utilizados em galpões de poedeiras responsáveis pelo acondicionamento dos ovos produzidos.

3.2. Cenário energético mundial

O conceito de energia pode ser considerado como a capacidade de realizar trabalho. Com base nisso, pode-se afirmar que a qualidade da energia associada é proporcional ao trabalho realizado (BRAGA *et al.*, 2005).

Após a Revolução Industrial, a demanda por energia tem aumentado constantemente. A cada dia que passa, precisa-se de mais energia para suprir as novas necessidades da população mundial, que cresce de forma exponencial. Outro fator que colabora ainda mais com a necessidade de aumento da geração de energia é o desenvolvimento de novas

tecnologias, que têm como base o consumo de energia elétrica ou térmica. Cada país tem sua matriz energética definida pela disponibilidade de seus recursos naturais, mas, observando-se o cenário mundial, com base na Figura 1, é possível perceber a atual dependência humana dos combustíveis fósseis. Estes são responsáveis por 53,8% do consumo mundial de energia. Ainda observando o gráfico, em segundo lugar tem-se o carvão mineral, que também é uma fonte não renovável de energia. Considerando-se este contexto, a busca pelo desenvolvimento de fontes de energias renováveis torna-se cada vez mais necessária (UCZAI, 2012).

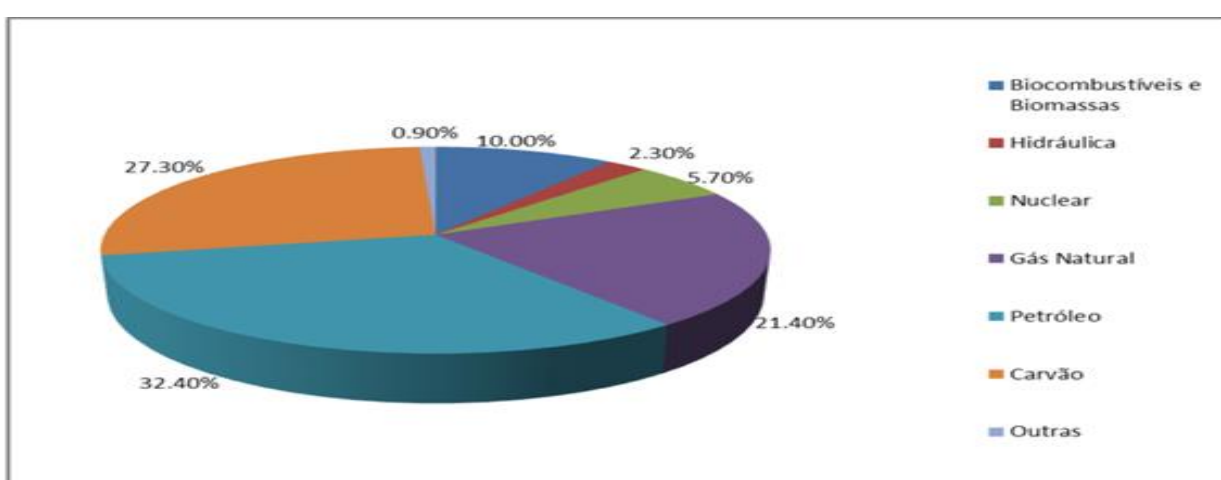


Figura 1– Gráfico das fontes de geração de energia no mundo ano-base 2010
Fonte: IEA (2010)

3.3. Matriz energética no Brasil

No Brasil, assim como no resto do mundo, a matriz energética tem o petróleo como fonte predominante, com cerca de 40% de participação. Em contrapartida, em segundo lugar estão os produtos derivados da cana-de-açúcar, com uma participação de cerca de 16%, conforme pode ser visto na Figura 2. Percebe-se, assim, uma evolução em relação à busca por fontes de energia renováveis. Essa realidade só foi possível por meio do incentivo do governo federal ao uso de biocombustíveis, em especial o etanol, seja através da adição do etanol, de forma obrigatória, à gasolina ou pelo incentivo à produção em larga escala de veículos Flexfuel (GORREN, 2009).

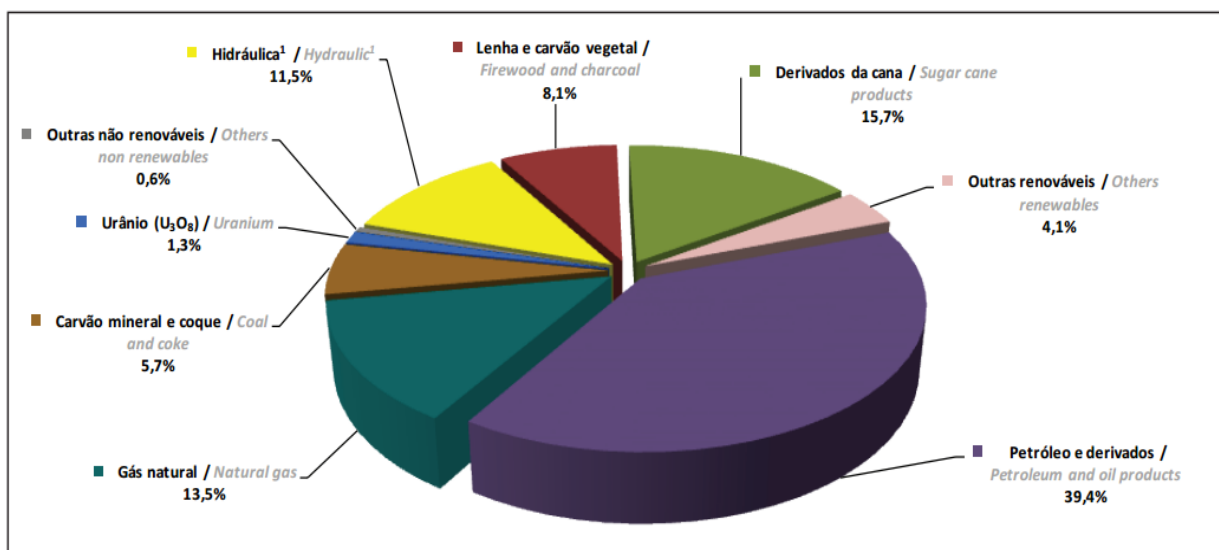


Figura 2– Gráfico das fontes de geração de energia no Brasil ano-base 2014
Fonte: Brasil, (2015)

Outro fator de elevada significância é a grande geração de energia (11,5%) por meio de Hidroelétricas, que também constituem uma fonte de energia renovável. O grande problema deste tipo de geração de energia é a dependência dos índices pluviométricos, pois, em períodos de seca, este sistema perde eficiência. Além disso, muitas vezes o uso de termoelétricas se faz necessário para cobrir a demanda por energia (FONTANINI, 1995).

Com base na Figura 2, pode-se perceber que esse quadro atual mostra que a busca pelo desenvolvimento de fontes de energias renováveis ainda é algo que necessita de mais pesquisas e investimentos, pois apenas 4,1% de nossa matriz energética estão ligados a esse tipo de fonte.

Uma das alternativas passíveis de serem desenvolvidas é o uso de resíduos sólidos orgânicos, o que já é uma realidade em várias partes do mundo. O mais interessante deste tipo de geração de energia é que, além de resolver em parte o problema de geração de energia, também contribui com a conservação do meio ambiente, reduzindo a quantidade de material nos aterros sanitários e demais destinações inadequadas e dos gases do efeito estufa que seriam liberados na natureza (UCZAI, 2012).

3.4 Resíduos sólidos

A Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010, instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS - no Brasil, dispendo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos

- incluindo os formados por materiais perigosos - às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis, determinando que todos os municípios deverão se adequar a uma política nacional de resíduos sólidos.

Dentre os principais objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, estão a proteção à saúde pública e a qualidade ambiental; não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços; adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais.

Segundo Castilhos Júnior (2006), os resíduos sólidos variam química e biologicamente de acordo com a cultura, a política local e o desenvolvimento tecnológico da região. Sendo assim, é necessário um estudo gravimétrico dos resíduos sólidos a fim de otimizar o processo de tratamento destes resíduos e, conseqüentemente, reduzir os impactos ambientais.

Os resíduos sólidos, quanto ao estado físico, podem ser classificados em: sólidos ou semissólidos; quanto à origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, dentre outros; e, quanto ao grau de periculosidade, os resíduos são classificados de acordo com suas propriedades químicas, físicas ou infectocontagiosas.

Segundo Marques (2005), a produção e distribuição massificada de bens incentivam a sociedade ao consumo, que, praticado de forma exagerada, gera conseqüentemente uma exaustão dos recursos naturais no meio ambiente. Com base nesta afirmação, pode-se considerar que o consumo influencia no meio ambiente de forma muito impactante, pois retira recursos e devolve resíduos, e estes devem ser estudados em vários aspectos de seu ciclo: geração, recolhimento, manuseio, transporte e destinação.

Segundo Fernandes (2014), existe uma relação direta da quantidade de resíduos e a situação socioeconômica, que é estabelecida pela premissa de que, quanto maior a renda, maior será a quantidade de lixo produzido.

Existem inúmeros problemas gerados pela má disposição dos resíduos sólidos urbanos. Entretanto, destacam-se a contaminação do solo, do ar e dos lençóis freáticos, além da proliferação de pragas urbanas, e, como consequência, a proliferação de doenças, tais como diarreias infecciosas, amebíase, salmoneloses, helmintoses, como ascaridíase, teníase e outras parasitoses (CASTILHOS JÚNIOR, 2003).

Segundo Stefani (2015), os resíduos sólidos dispostos sem qualquer tratamento geram uma alteração da paisagem natural e artificial, impactando na qualidade do ar devido

à emissão de gases resultantes da queima e da decomposição da matéria orgânica, proliferação de insetos, ratos e outros vetores.

3.5 Energias alternativas

3.5.1 Geração de biogás

Biogás é o nome dado à mistura de gases produzida pelo processo fermentativo da biomassa, gerando metano, gás carbônico e outros gases, presentes em menor proporção, variável em função da composição do resíduo a ser tratado e das condições do reator (SAMPAIO, 2012).

O gás metano é o combustível do biogás, sendo ele incolor, inodoro e considerado um dos mais simples hidrocarbonetos; quanto maior for o seu teor, maior será seu poder calorífico. Este gás pode ser produzido de forma natural ou antropogênica. A efetiva formação do gás metano acontece através de reações realizadas pelas bactérias metanogênicas presentes em meio anaeróbico. Como fontes naturais, podemos citar os pântanos, oceanos, águas doces, e o resultado da digestão animal. Segundo Costa, (2006) aproximadamente 90% do metano emitido para a atmosfera são gerados a partir da decomposição de biomassa, e apenas 10% são provenientes dos fósseis, como o petróleo.

Devido à grande disponibilidade de combustíveis com baixo custo, o estudo do uso do biogás foi deixado de lado até meados de 1970 e 1980, quando ocorreu uma crise energética devido à falta de petróleo, sendo então retomadas as pesquisas, após esse período, em relação à geração de energia, beneficiamento e uso do biogás, o qual pode ser usado para a produção de energia térmica e elétrica (UCZAI, 2012).

O biogás é mais leve que o ar, e a sua baixa densidade faz com que ele ocupe um volume significativo e que sua liquefação seja mais difícil, o que o torna economicamente inviável, sendo esta sua principal desvantagem em relação a transporte e utilização. Devido aos problemas citados anteriormente, para redução dos custos operacionais e logísticos, o uso do biogás torna-se mais viável economicamente quando se reduz a distância entre o local de utilização e a fonte geradora. O poder calorífico inferior - PCI - do biogás é de cerca de 5.500 kcal/m³, considerando-se um biogás padrão, que deve possuir um teor de metano de aproximadamente 60% (CASSINI, 2003).

A produção do biogás é realizada em reatores, conhecidos como biodigestores, onde, através da decomposição de matéria orgânica promovida pela ação das bactérias em meio anaeróbico, ocorre a formação de gás e biofertilizante. Dessa forma, a presença ou não de oxigênio, as variações de temperatura, a alcalinidade, o pH, o teor de água e a carga equilibrada de nutrientes influenciarão diretamente na qualidade do biogás produzido (SOTTI, 2014).

Pode-se ver, na Tabela 1, a composição padrão do biogás produzido, sendo que a variação destes valores é totalmente dependente dos parâmetros citados acima.

Tabela 1- Composição química padrão do biogás

COMPOSTO	Percentual médio
Metano (CH ₄)	45% a 75%
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25% a 45%
Hidrogênio (H ₂)	1% a 3%
Nitrogênio (N ₂)	0,5% a 2,5%
Oxigênio (O ₂)	0,1% a 1%
Sulfeto de Hidrogênio (H ₂ S)	0,1% a 0,5%
Amônia (NH ₃)	0,1% a 0,5%
Monóxido de Carbono (CO)	0 % a 0,1%
Água (H ₂ O)	Variável

Fonte: COMGAS, 2003

Conforme pode ser observado na tabela acima, as principais impurezas contidas no gás são o dióxido de carbono (CO₂) e o gás sulfídrico (H₂S). O biogás é muito corrosivo, principalmente pela ação do gás sulfídrico, que, dependendo de sua concentração, ataca principalmente o cobre, o latão e o aço. O gás sulfídrico é o responsável pelo odor desagradável do biogás, semelhante ao de “ovo podre”. Se o sulfeto de hidrogênio (H₂S) estiver presente no gás durante o processo de combustão, ele pode gerar intoxicação em caso de inalação dos produtos dessa combustão, devido à formação do dióxido de enxofre (SO₂), gás tóxico que pode causar perturbações pulmonares (CASSINI, 2003).

O valor da produção total de metano depende da composição do resíduo, principalmente da fração orgânica. Esse parâmetro tem valores típicos entre 5 m³ e 310 m³ de tonelada CH₄ / t resíduo (BORBA, 2006).

3.5.1.1 Biodigestor

Segundo Filho, (2013), o biodigestor é um reator onde ocorrem as reações químicas através de ações biológicas para a produção do biogás. Normalmente, é constituído de uma câmara isolada, com o objetivo de impedir a entrada de ar, onde, pela ação de bactérias em meio anaeróbico, é promovida a transformação da matéria orgânica em adubo orgânico e biogás. Devido à baixa complexidade do equipamento, a operação é muito simples e os custos são relativamente baixos.

As câmaras dos biodigestores podem ser construídas de vários materiais distintos; os mais comuns são concreto, plástico, aço, alumínio e fibra. A definição do material das câmaras está ligada a dois parâmetros: custo e volume. O biodigestor deve possuir portas individuais de entrada e saída para os materiais orgânicos e válvula de saída para o gás gerado, normalmente localizado na parte superior do equipamento. Assim, ele é dividido da seguinte forma:

- Caixa de entrada - local onde a matéria-prima é inserida e misturada com água para facilitar o processo de digestão anaeróbica;
- Câmara de digestão - local onde ocorrem as reações orgânicas promovidas pela ação das bactérias anaeróbicas. A câmara deve conter uma cúpula para acumulação do biogás gerado. Ela pode ser dimensionada de acordo com o projeto e, em caso de baixos volumes de produção de gás, pode ser usada como uma espécie de gasômetro e ser ligada diretamente aos pontos de consumo;
- Caixa de saída - local onde o adubo orgânico formado é depositado;
- Gasômetro - local onde o gás produzido é armazenado. Conforme já explicado anteriormente, pode ser localizado acima da câmara de digestão e formar uma só estrutura, ou, caso existam grandes volumes de gás, ser localizado externamente. Seu objetivo, além de armazenar o biogás, é manter um fluxo constante nas linhas de distribuição.

Os biodigestores são divididos em duas classes: contínuos e por bateladas, que, apesar de semelhantes em relação ao processo de produção de gás, possuem características bem definidas.

Os digestores contínuos são aqueles que trabalham de forma ininterrupta, ou seja, o carregamento é realizado com o equipamento em operação - à medida que a matéria-prima é carregada, os produtos são proporcionalmente descarregados. Este carregamento é feito

diariamente, sendo a matéria-prima diluída em água para evitar entupimentos nas linhas de carregamento de matéria orgânica e saída de produtos. Os principais modelos de biodigestores contínuos são o indiano, o paquistanês e o chinês. Os modelos chinês e indiano são os mais usados no Brasil devido à facilidade de operação, ao alto rendimento operacional e ao baixo custo (FILHO, 2013).

Os digestores por batelada operam de forma descontínua. Toda a biomassa deve ser carregada de uma única vez, sendo mantida na câmara até que todo o processo seja finalizado. Esta indicação é dada por meio da produção do biogás, que, quando entra em declínio, indica que a reação anaeróbica foi finalizada, momento no qual a câmara é aberta e o fertilizante produzido é extraído do interior do biodigestor. Em seguida, é novamente feito o carregamento de biomassa (resíduos orgânicos) para reiniciar a operação. Este tipo de biodigestor é indicado para situações onde não é possível efetuar o carregamento diário do equipamento. Normalmente, isso ocorre quando o volume diário de matéria orgânica disponível é baixo, necessitando-se de tempo para sua acumulação (FILHO, 2013). A Tabela 2, elaborada por Barreira (2003), compara os três principais modelos de biodigestor usados no Brasil.

Tabela 2 - Comparação dos biodigestores

	Chinês	Indiano	Marinha / Horizontal
Materiais	Tijolo, cimento, pedra e areia.	Tijolo, cimento, pedra, areia, ferro ou alumínio.	Tijolo, cimento, pedra, areia e plástico.
Isolamento térmico	Feito dentro da terra: bom isolamento natural, a temperatura constante.	Tem perdas de calor pela câmara de gás metálica, difícil de isolar. Menos indicado para climas frios.	Não tem problemas de perda de calor.
Perdas de gás	A parte superior deve ser protegida com materiais impermeáveis e não porosos; difícil obter construção estanque.	Sem problemas.	Sem problemas.
Manutenção	Deve ser limpo uma ou duas vezes ao ano.	A câmara de gás deve ser pintada uma vez ao ano.	Deve ser limpo uma vez ao ano.

Fonte: Barrera, 2003

Segundo Ferling (2003), O processo de biodigestão anaeróbica divide-se em quatro etapas distintas, como pode ser observado na Figura 3.

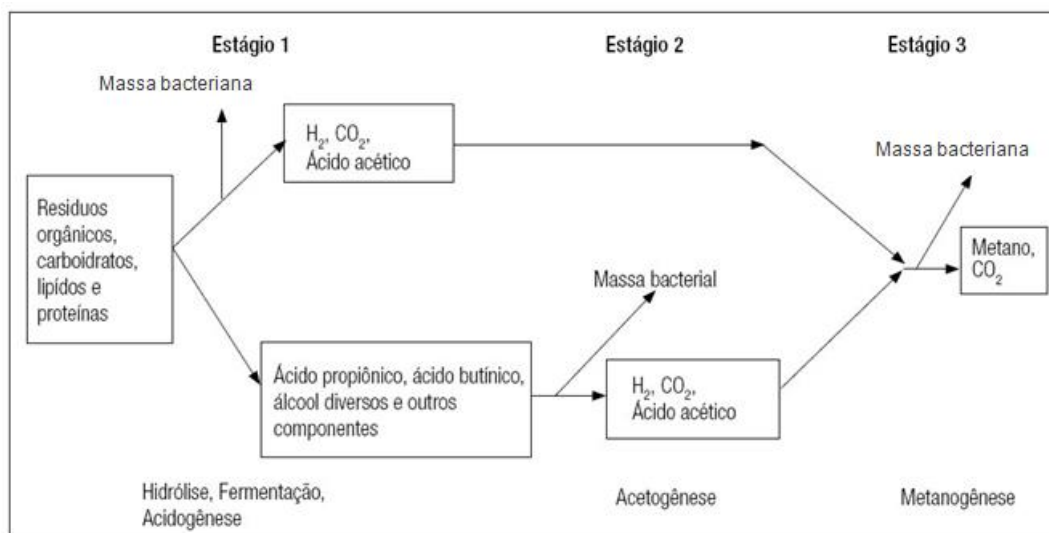


Figura 3- Etapas para produção Anaeróbica de Biogás

Fonte: Ferling, (2003)

Estas etapas dividem-se em três estágios:

➤ Estágio 1:

- Hidrólise: etapa na qual ocorre a fermentação da matéria orgânica. Neste momento, por meio da ação das bactérias fermentativas, acontece a transformação de carboidratos, proteínas e lipídios em açúcares, aminoácidos e peptídios.
- Acidogênese: etapa onde as bactérias acidogênicas consomem os solúveis provenientes da etapa anterior. Após este consumo, as bactérias liberam ácidos graxos, álcoois, ácido láctico, gás carbônico, amônia, hidrogênio e sulfeto de hidrogênio.

➤ Estágio 2:

- Acetogênese: etapa na qual, pela ação das bactérias sintróficas acetogênicas, ocorre a oxidação das substâncias geradas na fase de acidogênese, gerando, assim, ácidos orgânicos que são o substrato básico para próxima fase.

➤ Estágio 3:

- Metanogênese: etapa em que acontece a transformação dos ácidos gerados nas etapas anteriores em gás metano e gás carbônico.

3.5.1.2 Biofertilizante

O biofertilizante trata-se de um produto final do processo de digestão que possui grande importância para a agricultura. É uma matéria orgânica que contém uma alta

concentração de nitrogênio, além de ser rico em nutrientes para o solo. Além disso, é um adubo muito eficiente para as plantações, tendo como principal fator positivo, dentre outros, em relação aos adubos químicos, a não salinização do solo. Este tipo de fertilizante pode ainda ser empregado na recuperação de solos empobrecidos pelo uso de fertilizantes inorgânicos (FILHO, 2013).

O biofertilizante é um produto rico em matéria orgânica que está bioestabilizado e possui como ponto forte a permanência de todos os nutrientes os resíduos possuíam antes da do processo de biodigestão. Não possui odor desagradável nem atrai moscas para as plantações e é livre de microrganismos patogênicos causadores de doenças nas plantas (BARRERA, 2003).

O biofertilizante pode ser aplicado em forma sólida ou líquida. Porém, esta definição deve considerar vários fatores, como equipamentos disponíveis, tempo de absorção pretendida e tipo de cultura adubada. O método mais comum é através da fertirrigação, através de aspersão do material diluído em água sobre a plantação, sendo necessária uma etapa posterior de aspersão somente com água para realizar a limpeza das folhas e frutos das plantas (BARRERA, 2003).

3.5.1.3 Uso de cama de frango para produção de biogás

De acordo com Costa (2012), a cama de frango é um composto orgânico constituído de uma mistura de excretas (urina e fezes) das aves (frango e galinha), água, penas e restos de ração agregados a materiais substratos como: raspa de madeira, serragem, trigo, palha, casca de arroz, dentre outros, de acordo com a região, que são distribuídos sobre o piso do galpão para serem usados como leito para as aves.

O principal objetivo da cama de frango é garantir um ambiente sanitariamente seguro, onde as aves não tenham contato com umidade e microrganismos que possam comprometer sua saúde e, conseqüentemente, sua carne. Com o uso da cama de frango, evita-se que as aves tenham contato direto com o piso, uma vez que ela serve de substrato para absorção de água e urina, incorporação das fezes e penas. Além disso, reduz as oscilações de temperatura no galpão, é de fácil disponibilidade, composta por materiais atóxicos aos animais e com um custo relativamente baixo (COSTA, 2012).

Segundo Paganini (2004), a cama de frango é rica em micróbios e parasitas, pois recebe todas as excreções das aves - fato que contribui para o saneamento e salubridade do processo e viabiliza o posterior uso da cama de frango como fertilizante.

De acordo com Palhares (2004), o uso da cama de frango para a produção de biogás tornou-se uma alternativa a partir de 2004. Essa opção surgiu em resposta à medida adotada pelo MAPA, que proibiu a utilização deste resíduo como alimentação para ruminantes, através da Instrução Normativa nº15, de 17 de julho de 2001. Tal proibição foi uma das medidas preventivas para os riscos potenciais da *Encefalopatia Espongiforme Bovina* ou “doença da vaca louca”.

A partir de agora, o que era uma fonte de renda para os avicultores tornou-se uma fonte de gastos, já que eles deveriam encontrar uma destinação ou tratamento adequado para a cama de frango. Após diversas reuniões entre os profissionais do MAPA, órgãos representantes dos avicultores e instituições de pesquisa e ensino chegaram a um consenso de que, dentre as alternativas apresentadas, a mais vantajosa seria a biodigestão, tendo como subprodutos biogás e biofertilizante (PALHARES, 2004).

Ainda citando Palhares (2004), dentre as vantagens para o avicultor com a biodigestão, estão:

- Alto valor energético do biogás;
- Alto valor nutricional para o solo e as plantas;
- Redução do custo com aquisição de insumos;
- Geração de receita extra;
- Redução do custo de produção;
- Saneamento rural pela redução da carga orgânica poluente dos resíduos;
- Obtenção de um efluente adequado para fertilização do solo;
- Melhoria do manejo ambiental da propriedade.

De acordo com dados da UBABEF (2015), o crescimento constante e significativo da produção de frangos no Brasil, de 5,98 mil/t., em 2000, para 12,69 mil/t., em 2015, tem consequente aumento da geração de resíduos, entre eles, a cama de frango. Segundo Costa, (2012) cada frango de corte produz cerca de 1,75 kg de cama a cada 42 dias, o que torna a cama de frango o principal subproduto desse processo produtivo, evidenciando a necessidade de lhe garantir uma destinação correta.

A retirada da cama de frango ocorre ao fim de cada ciclo produtivo, após a retirada das aves. De acordo com Palhares (2004), é possível a reutilização da cama, desde que ela apresente as condições necessárias (geralmente com alguns complementos) para um novo processo e não tenha havido nenhuma doença no lote. Essa reutilização deve acontecer por, no máximo, seis lotes; em caso de pinteiro, sempre se deve colocar uma cama nova por cima da reutilizada.

Não sendo mais passível de reutilização, ou não sendo esta uma opção para o avicultor, a cama segue para o processo de biodigestão. Ainda, de acordo com Palhares (2004), é de extrema relevância que se conheça a composição da cama antes de iniciar o processo de biodigestão, pois ela exerce influência direta no desenvolvimento da biodigestão anaeróbica, e esse conhecimento facilita o manejo do biodigestor.

Outro fator importante a ser observado é a compatibilidade das propriedades físicas e químicas dos resíduos com o projeto de biodigestor considerado. Essa escolha garantirá desenvolvimento e processo apropriados e conseqüente desenvolvimento econômico e retorno financeiro.

3.5.2 *Energia solar*

Atualmente, o uso da energia solar é amplamente estudado, seja como fonte de calor ou pelo uso de células fotovoltaicas, as quais são capazes de converter a luz solar em energia elétrica. Essa transformação se dá por intermédio de materiais denominados semicondutores, que são feitos de vários tipos de materiais, sendo os de silício os mais usados na construção das células, com rendimento possível de aproximadamente 30%.

Como a corrente contínua produzida por cada célula é de baixa tensão, é realizada uma associação de células para se obter um conjunto, que é denominado módulo fotovoltaico.

O que chamamos de painel fotovoltaico é composto por vários módulos agrupados em um suporte, que é posicionado de acordo com a movimentação do sol. Quando a luz solar incide sobre estas estruturas, produz-se uma corrente de elétrons, obtendo-se, assim, energia elétrica (ROSA, 2005).

Um dos principais problemas ligados à instalação de grandes usinas fotovoltaicas está relacionado com a ocupação de grandes áreas, o que alteraria de forma significativa a paisagem, além da potencialidade de influência no ecossistema local. Uma das alternativas

para minimizar os impactos seria o uso de sistemas fotovoltaicos de pequeno porte, sobretudo quando instalados em telhados ou fachadas. Dessa forma, reduzir-se-ia o impacto visual e ecossistêmico (ROSA, 2005).

3.5.3 Energia eólica

No Brasil, a primeira turbina de energia eólica foi instalada em Fernando de Noronha-PE, em 1992. A energia eólica também tem grande potencial de geração de energia alternativa, pois é produzida a partir da força dos ventos. Os equipamentos que convertem esta energia em energia elétrica são denominados aerogeradores. A força cinética do vento é captada por pás em formato de hélice, que são ligadas por um eixo a uma turbina que, por sua vez, aciona um gerador elétrico (ROSA, 2005).

O uso deste tipo de energia pela humanidade é datado de mais de três mil anos. Como exemplo, podem-se citar os moinhos de vento, que serviam para realizar a cominuição de grãos, bombeamento e drenagem da água e outras atividades que necessitavam de grande força para sua realização. Com o passar dos anos e o desenvolvimento de novas tecnologias, os geradores de energia elétrica foram desenvolvidos e, após algum tempo de estudo, foi possível a criação de aerogeradores que convertem o vento - esta fonte de energia cinética e renovável - em energia elétrica (DUTRA, 2008).

Segundo Dutra (2008), um sistema eólico pode ser utilizado em duas formas distintas:

- Sistemas isolados - que necessitam de baterias para acumulação da energia gerada - utilizados em imóveis e comércios pequenos.
- Sistemas integrados à rede - onde a energia é inserida de forma direta para a rede elétrica - normalmente usados em empreendimentos de maior escala e com fins comerciais.

3.6. Sustentabilidade

Segundo o *Millenium Ecosystem Assessment- MEA*, (2005) é notório o aumento da população animal para suprimento da demanda por alimentos. A produção animal causa impacto significativo ao ambiente e, dessa forma, tornar os processos de produção mais sustentáveis é uma necessidade cada vez maior e mais urgente.

Sustentabilidade tornou-se uma palavra muito comum aos diversos setores da economia. Em todo o País, ouve-se falar sobre ações sustentáveis, desenvolvimento sustentável, produção sustentável. No entanto, ouve-se muito mais do que se vê (ANDRAUS; et al, 2011).

Essa discussão não é tão nova. Desde a década de 1960, movimentos ambientalistas questionam a doutrina de desenvolvimento adotada pelo mundo pós-guerra, quando um crescimento econômico milagroso trouxe consigo um capitalismo marcado pelo liberalismo econômico e consumismo insustentável. Foi a partir da década de 1960 que a percepção de escassez abriu as portas para uma consciência ecológica, dando força aos movimentos em prol do desenvolvimento sustentável (ANDRAUS; et al, 2011).

É preciso destacar que sustentabilidade vai muito além da consciência ecológica. Ela se desdobra para as mais diversas áreas da economia, pois se fala em sustentabilidade ambiental, cidades sustentáveis, empregos sustentáveis, produção sustentável, dentre muitas outras. Para Pereira, *et al.* (2011), sempre que se ouve falar em sustentabilidade, tende-se a pensar nas questões ambientais do planeta; mas ser sustentável está muito além disso. Ser sustentável é ter ou adquirir conhecimento que lhe permita agregar vantagem competitiva em suas ações, tendo como resultado o bem-estar e a qualidade de vida da geração presente, bem como das futuras.

Na visão de Palhares 2011, algumas empresas têm limitado o ser sustentável a cumprir legislações ambientais, incluir em seus processos produtivos alguns recursos naturais renováveis e não renováveis com eficiência e adotar alguma ação ou tecnologia para manejar os resíduos gerados.

Ainda, segundo Palhares (2011), sustentabilidade envolve obrigatoriamente a mudança dos modelos e culturas produtivas. Na avicultura não é diferente, para que a sustentabilidade seja possível, são necessárias mudanças na cultura e nos processos produtivos.

De acordo com Bampi (2009), a avicultura é a atividade pecuária mais desenvolvida no Brasil e no mundo, onde constantemente são desenvolvidas e implementadas novas técnicas a fim de garantir sustentabilidade produtiva e, como consequência, manter essa liderança. Porém, para Palhares (2011), embora se possa contar com muitos avanços, “nossas pesquisas em avicultura ainda possuem visões produtivistas pontuais. Muito poucas são as pesquisas que têm como foco ou consideram as questões ambientais”. Na visão do autor, é preciso não só desenvolver pesquisas mais eficientes, mas também formar novos profissionais que compreendam que maior eficiência ambiental se traduz em menor custo de

produção e melhor qualidade de vida para todos os participantes da cadeia produtiva, alcançando assim a tão almejada sustentabilidade.

3.6.1 Sustentabilidade na avicultura

Para Palhares (2011), alcançar a sustentabilidade envolve ações em três dimensões: ambiental, social e econômica. Abaixo, algumas delas:

- **Adoção de baterias de gaiolas** - resulta em possibilidade de automatização nos processos de distribuição de ração, água, coleta de ovos e esterco, além de gerar melhorias na higiene, nutrição e "status" sanitário das aves, bem como intensificação na produção de ovos. Como consequência da adoção dessas ações, o produtor terá: 1) redução nos custos, devido à otimização do tempo gasto em manutenção do processo, aumento da produção e minimização dos desperdícios (dimensão econômica); 2) aumento da qualidade dos alimentos (carne e ovos), em decorrência das melhorias na higiene, nutrição e "status" sanitário das aves (dimensão econômica e social) (MAZZUCO, 2008).
- **Seleção genética das linhagens de corte e postura** – responsável por cerca de 85% de elevação nos índices produtivos dos últimos 50 anos. Ainda não é uma técnica muito adotada devido a estudos que relacionam esse crescimento com um aumento na incidência de doenças relacionadas à intensificação tanto em linhagens de corte quanto de postura. A adoção dessa técnica aumenta significativamente a lucratividade do produtor (dimensão econômica) (MAZZUCO, 2008).
- **Reciclagem dos resíduos da produção** – resíduos como: camas de aviário, excretas, aves mortas são, de acordo com Palhares (2011), ótimos fertilizantes, se usados corretamente após o adequado manejo, e sua utilização para esse fim já é uma ação sustentável habitual ao produtor brasileiro. Porém, é comum o uso incorreto desses resíduos, onde não se leva em consideração o princípio do balanço de nutrientes, no qual se deve garantir a compatibilidade entre o que o solo já disponibiliza com a exigência nutricional da cultura vegetal em questão e a disponibilidade de nutrientes nos resíduos. Dessa forma, a ação deixa de ser sustentável e se torna um manejo potencialmente poluidor.

Outra variável dessa situação é a citada por Mazzuco (2008), onde o excesso de resíduos depositados no solo, em consequência da intensificação do processo produtivo, causa danos graves ao meio ambiente. Para o autor, a melhor e mais

sustentável alternativa quanto à utilização desses resíduos é a produção de bicomcombustível. Entretanto, a adoção dessa ação em larga escala depende diretamente de políticas públicas e desenvolvimento de novas pesquisas de viabilidade.

3.7 Estudo de viabilidade

De acordo com Botteon (2009), não existe decisão a ser tomada considerando-se alternativa única. Partindo deste pressuposto, ao propor um projeto, faz-se necessário levantar todas as alternativas disponíveis, avaliar a viabilidade de cada uma delas e então dar início ao processo decisório levando em conta apenas as alternativas viáveis.

De acordo com Ross *et al.* (2011), ao tratar de viabilidade, tende-se à visão financeira. No entanto, o processo decisório quanto à aceitação de um projeto deve considerar ainda eventos não quantificáveis econômicos e imponderáveis, que, por sua relevância qualificável, podem influenciar os resultados de maneira significativa, inclusive inviabilizando o projeto.

3.7.1 Estudo de viabilidade financeira

De acordo com Gitman (2010), o estudo de viabilidade financeira ou orçamento de capital tem como principais objetivos determinar se um projeto é aceitável ou realizar classificação entre projetos. Essa análise pode ser realizada por meio de diversas técnicas. Dentre as mais comuns, avaliam-se risco e retorno de capital, valor do dinheiro no tempo e conceitos de avaliação para seleção de investimentos de capital condizentes com os objetivos da empresa em análise.

Segundo Camloffski (2014), o primeiro passo ao realizar um estudo de viabilidade financeira é estimar o fluxo de caixa projetado para a vida útil do projeto, a partir do qual será possível aplicar técnicas de análise de investimentos, a fim de gerar dados que contribuam com o processo decisório em relação à aceitação ou rejeição do projeto.

Dentre as técnicas de análise de investimentos mais utilizadas, segundo Neto e Lima (2014), as mais assertivas são: *Payback* descontado, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), e o Índice Benefício-Custo (IBC).

3.7.1.1 Payback

O período de *payback*, ou período de retorno, é, segundo Gitman (2010), o tempo necessário para que uma empresa recupere o investimento inicial em um determinado projeto, ou seja, para que o *cash flows* fique positivo. Logo, o cálculo do *payback* (Equação 1) objetiva estimar em quanto tempo um investimento será recuperado.

O ciclo de vida de um projeto pode ser dividido em duas fases para fins de análise financeira: o período inicial, que vai da concepção até o *breakeven*, período marcado por custos e despesas de investimento. E a segunda fase, o *cash flows*, período caracterizado pelas receitas líquidas que acabam por recuperar o capital investido e trazer retorno do investimento realizado (EHRHARDT e BRIGHAM, 2012).

Este período inicial é o que chamamos de *payback*, ou, ainda, período de recuperação. Para Camloffski (2014), quanto mais curto ele for, maior a liquidez do projeto e, conseqüentemente, menor o seu risco.

De acordo com Gitman (2010), na hipótese de uma anuidade, pode-se encontrar o período de *payback* dividindo o investimento inicial pela entrada de caixa anual, no caso de uma série mista de entradas de caixa, que é a situação mais comum, e estas deverão ser acumuladas até o *breakeven*.

$$PAYBACK = \frac{I_0}{\sum CF_t} \quad \text{Onde:}$$

I_0 - Investimento Inicial
 CF_t - Fluxo de caixa

(1)

Equação 1 - Payback

Existem duas formas de calcular o *payback*:

- Simples ou nominal - calculado a partir do fluxo de caixa projetado. Esse método desconsidera o valor do dinheiro no tempo, e, por este motivo, não pode, segundo Torres (2006), ser considerado para fins de análise financeira (Figura 4).

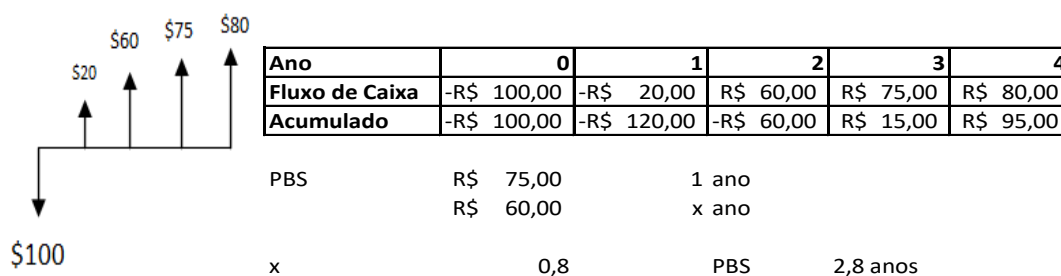


Figura 4 - Representação de cálculo de *payback* pelo método simples ou nominal
 Fonte: Próprio autor, 2016

- *Payback* descontado (PBD) ou presente líquido – calculado a partir do fluxo de caixa com valores trazidos ao valor presente líquido. Esse método leva em consideração o valor do dinheiro no tempo, descapitalizando o fluxo de caixa a fim de estabelecer uma comparação na data-zero (Tabela 3). Esse método é considerado o mais indicado para fins de análise financeira (TORRES, 2006).

Tabela 3 - Representação de cálculo de *payback* pelo método descontado ou presente líquido

Ano	0	1	2	3	4	taxa
Fluxo de Caixa	-R\$ 100,00	-R\$ 20,00	R\$ 60,00	R\$ 75,00	R\$ 80,00	15%
Acumulado	-R\$ 100,00	-R\$ 120,00	-R\$ 60,00	R\$ 15,00	R\$ 95,00	
Vp		-R\$ 17,39	R\$ 45,37	R\$ 49,31	R\$ 45,74	
VPL	-100	-R\$ 117,39	-R\$ 72,02	-R\$ 22,71	R\$ 23,03	

PBD	R\$ 45,74	1 ano	x	0,4964991
	R\$ 22,71	x ano	PBD	3,49 anos

Fonte: Próprio autor, 2016

Essa descapitalização precisa acontecer com base em uma taxa de desconto, que não deve ser definida aleatoriamente, a fim de não comprometer a confiabilidade dos resultados. Camloffski (2014) aponta três taxas que podem ser utilizadas como taxa de desconto:

1. Taxa mínima de atratividade (TMA) – também chamada taxa de expectativa: é o retorno mínimo que o investidor espera. Determinada pelo próprio investidor, geralmente com base em seu perfil, sua percepção de risco em relação ao negócio, a liquidez do negócio e o custo de oportunidade.
2. Custo de oportunidade – é o custo da oportunidade perdida, ou o custo de um investimento em detrimento de outro.
3. Custo de capital – trata-se da remuneração sobre o capital investido: é o custo do dinheiro aportado em determinado investimento. Tratando-se de capital próprio, aborda o que se deixa de ganhar no mercado financeiro. Ao tratar de capital de terceiros, aborda a remuneração que se faz ao capital tomado.

Os critérios de decisão diante dos resultados apresentados pelo cálculo do *payback* são os seguintes, de acordo com Gitman (2010):

Aceitável – período de *payback* menor que o período máximo aceitável.

Rejeitável – período de *payback* maior que o período máximo aceitável.

Esse período máximo aceitável varia de uma empresa para outra, uma vez que não é calculado, e sim definido pela administração com base em uma série de fatores, na maioria

das vezes subjetivos e imensuráveis, como percepção de risco e tipo de projeto. Esse fator é considerado, para muitos autores, como Neto e Lima (2014), uma fragilidade do método.

Outra fragilidade do método, apontada por Camloffski (2014), é o fato de que o *payback* só é calculado até o *breakeven*, desconsiderando os valores após esse momento. Isso consiste em risco para o negócio, pois projetos com menor período de *payback* tendem a sofrer uma redução substancial da geração de caixa após o *breakeven*, comprometendo os resultados.

É importante lembrar que a grande maioria dos projetos se paga, e o que determina a sua viabilidade ou não é o intervalo de tempo em que esse pagamento acontece.

3.7.1.2 Valor Presente líquido (VPL)

Considerado por Ehrhardt e Brigham (2012) o melhor critério de análise de investimento, O VPL leva em consideração, de forma clara, o valor do dinheiro no tempo. Calcular o VPL consiste em descapitalizar o fluxo de caixa com base em uma taxa de desconto específica, a qual representa o retorno mínimo esperado de um projeto para que o seu valor de mercado mantenha-se no mínimo estável.

Por meio do VPL, é possível apurar (Equação 2), no momento presente, o retorno previsto para o investimento. Após a descapitalização do fluxo de caixa à taxa de desconto da empresa, subtrai-se do resultado o investimento inicial. O projeto é considerado passível de avaliação se o resultado for superior a zero ($VPL > 0$), e descartável quando inferior a zero ($VPL < 0$) (NETO e LIMA, 2014).

Fórmula:

VPL = Valor presente das entradas de caixa – investimento inicial

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} - CF_0$$

T= tempo
N = prazo
CF = fluxo de caixa
i = taxa

(2)

Equação 2 - Valor Presente Líquido (VPL)

Outras ferramentas mais comumente usadas para a resolução de cálculos de análise financeira, inclusive o VPL, são a calculadora financeira HP12C e planilhas eletrônicas, como em Excel.

A calculadora HP12C é considerada por Camloffski (2014) uma ferramenta limitada em se tratando de fluxos de caixa muito extensos, porém ainda é a mais indicada para cálculos financeiros, já que abrange boa parte das operações existentes.

De acordo com o guia do usuário (2007), a HP12C possui uma função para o método de análise de fluxo de caixa descontado, (valor presente líquido).

Para melhor compreensão, vamos considerar o diagrama de fluxo de caixa abaixo, para um investimento com capital inicial (CF_0) que gera, ao fim do primeiro ano, um fluxo de caixa (CF_1), e assim consecutivamente até o fluxo final (CF_5), conforme a Figura 5.

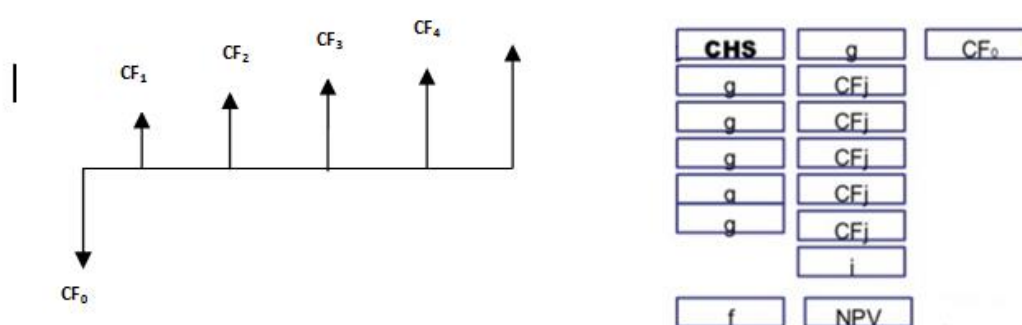


Figura 5- Representação de cálculo de VPL em calculadora HP12C
Fonte: Próprio autor, 2016

O VPL é calculado com o somatório do valor presente do fluxo de caixa projetado ao investimento inicial (representado como fluxo de caixa negativo) seguido da aplicação da taxa de desconto (i) previamente definida.

Na visão Ehrhardt e Brigham (2012), as planilhas eletrônicas são as ferramentas mais recomendadas por serem consideradas completas, de acordo com a Tabela 4, uma vez que atendem a fluxos de caixa curtos e, principalmente, os muito extensos.

Tabela 4- Representação de planilha de Excel para cálculo de VPL

DETERMINAÇÃO DE VPL	
CUSTO DE CAPITAL = i	
Ano	Fluxo de caixa
0	(CF ₀)
1	CF ₁
2	CF ₂
3	CF ₃
4	CF ₄
5	CF ₅
VPL	= VPL(\$i\$;CF ₁ :CF ₅)+ CF ₀

Fonte: Próprio autor, 2016

Camloffski (2014) observa que o VPL é considerado uma das ferramentas mais completas em se tratando de análise de investimentos. Assim sendo, no caso de haver divergência entre os resultados apresentados pelas ferramentas aplicadas, o resultado do VPL deve ser considerado como o indicador mais confiável.

3.7.1.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

De acordo com Gitman (2010), uma técnica de orçamento de capital sofisticada e provavelmente a mais usada, a TIR, é a taxa de retorno obtida pelo investidor se e quando suas previsões de fluxo de caixa forem alcançadas. Dessa forma, pode-se dizer que a TIR é a rentabilidade projetada (EHRHARDT e BRIGHAM, 2012).

A TIR é uma taxa de desconto que iguala o VPL a zero, ou seja, iguala o VPL do fluxo de caixa ao investimento inicial. Além disso, é considerada por alguns autores o limite superior da rentabilidade previsível para um determinado projeto.

Para fins de análise de viabilidade, considera-se o projeto aceitável quando o cálculo da TIR apresentar resultado positivo em relação à taxa de desconto predeterminada (TMA, custo de capital ou custo de oportunidade), $TIR > TMA$. E rejeita-se o projeto quando, pelo contrário, o cálculo da TIR apresentar resultado negativo em relação à taxa de desconto, $TIR < TMA$, (TORRES, 2006).

O cálculo manual da TIR é proposto pela Equação 3, mas não é recomendado, devido ao grau de complexidade. O cálculo é realizado através de uma técnica de tentativa e

erro que testa, de forma lógica, várias taxas de desconto até encontrar aquela que anule o VPL.

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + TIR)^t} - F_0$$

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + TIR)^t} = F_0$$

T= tempo
N = prazo
CF = fluxo de caixa
F₀ = investimento inicial

(3)

Equação 3 - Taxa Interna de Retorno (TIR)

Assim como no cálculo do VPL, outras ferramentas como a calculadora financeira HP12C e planilhas eletrônicas são usadas para a resolução da TIR. Diferente do VPL, estas ferramentas são a primeira opção, uma vez que, o cálculo manual da TIR é inviável.

O cálculo da TIR na HP12C, segundo o guia do usuário da calculadora HP12C (2007), é complementar ao cálculo do VPL. Após o cálculo da VPL, o resultado pode ser obtido através da função , conforme Figura 6.

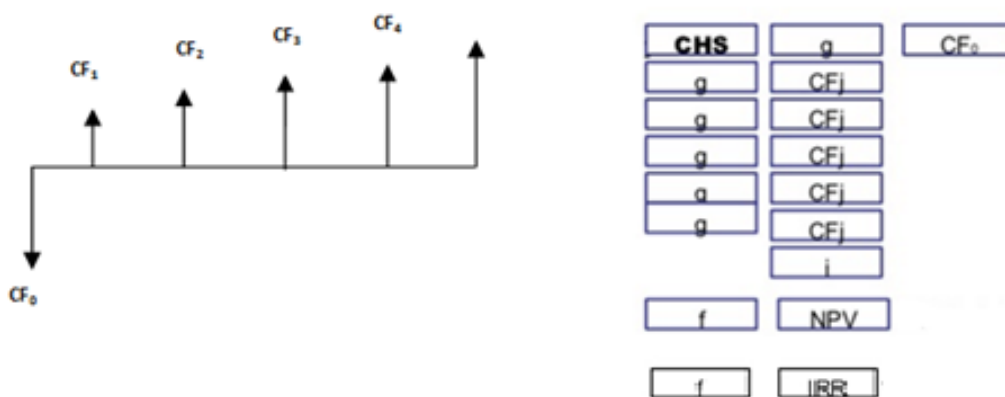


Figura 6– Representação de cálculo da TIR em calculadora HP12C
Fonte: Próprio autor, 2016.

A TIR também pode ser facilmente calculada por meio de planilhas eletrônicas (Tabela 5), no Microsoft Excel.

Tabela 5 - Representação de planilha para cálculo de TIR

DETERMINAÇÃO DE TIR	
Ano	Fluxo de caixa
0	(CF ₀)
1	CF ₁
2	CF ₂
3	CF ₃
4	CF ₄
5	CF ₅
TIR	= IRR (CF ₀ :CF ₅)

Fonte: Próprio autor, 2016

Após encontrar a TIR, procede-se a uma análise, onde a taxa obtida deverá ser comparada à taxa de desconto predeterminada para o projeto.

Ross *et al.* (2011) observam que não necessariamente a VPL e a TIR classificam os projetos na mesma ordem de prioridade, mas os dois métodos sempre deverão apresentar os mesmos resultados em relação à viabilidade do projeto.

Na visão de Camloffski (2014), a TIR deve ser considerada mais uma medida de risco do que de retorno, pois a possibilidade de mensuração de risco através dela é sua maior contribuição para a análise de um investimento. Essa mensuração pode ser obtida pela comparação entre a TIR e a TMA, medindo sua proximidade: quanto maior a proximidade entre as taxas, maiores os riscos do investimento.

3.7.1.4 Índice Benefício-Custo (IBC)

O IBC é o índice que avalia a representatividade do fluxo de caixa projetado em relação ao investimento inicial. Ele apura quanto o fluxo de caixa previsto, desconsiderando-se a TMA, representa em relação ao valor investido, em porcentagem ou moeda (CAMLOFFSKI, 2014).

O cálculo é extremamente simples e pode ser obtido manualmente ou através do uso de calculadora simples, sendo possível, mas não necessário, o cálculo por meio de outras ferramentas, como a HP12C e planilhas eletrônicas.

Obtém-se o IBC através da divisão do fluxo de caixa descapitalizado pelo seu investimento inicial. O resultado indica qual o retorno obtido em relação a cada R\$1,00 investido. Quanto maior o IBC, maior a geração de caixa do investimento e, por isso, maior

sua aceitabilidade. Vale lembrar ainda que o IBC é diretamente proporcional ao VPL (CAMLOFFSKI, 2014):

$$\text{VPL} > 0 \iff \text{IBC} > 1$$

$$\text{VPL} = 0 \iff \text{IBC} = 0$$

$$\text{VPL} < 0 \iff \text{IBC} < 1$$

3.7.2. *Estudo de viabilidade ambiental*

A humanidade nas últimas décadas gerou um aumento da concentração dos gases responsáveis pelo aquecimento do planeta, conhecidos como gases estufa. Os principais gases são o Metano (CH_4), o gás carbônico (CO_2), os clorofluorcarbonos (CFCs), o óxido nítrico e o ozônio atmosférico, eles tem a capacidade de perturbar o equilíbrio energético do planeta, que conseqüentemente altera todo nosso sistema climático (BRILHANTE E CALDAS, 1999).

O processo de produção de aves de corte e postura gera grande volume de resíduos sólidos e esses resíduos por sua vez liberam Metano e gás carbônico para o ambiente. Com base na legislação brasileira de resíduos sólidos, a Lei 12.305/2010, nos artigos II e V é possível identificar dois princípios básicos em relação ao tratamento dos resíduos sólidos “evitar e valorizar os resíduos antes da eliminação” (SOUSA, 2012):

“II - não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;

V - redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos; ”(BRASIL, 2010).

O tratamento dos resíduos sólidos produzidos na avicultura por meio da biodigestão possui grandes vantagens pelo ponto de vista ambiental, pois através dos mesmos é possível a transformação de gases prejudiciais em fonte de energia, assim como destinar de forma mais adequada os resíduos sólidos orgânicos. Desta forma o uso desta tecnologia gera como ganho a produção de gás combustível, controle da poluição das águas, controle dos odores, preservação do valor fertilizante do resíduo e remoção ou eliminação dos agentes patogênicos da matéria orgânica (NOGUEIRA, 1986).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Pesquisa bibliográfica

O trabalho aqui apresentado foi desenvolvido por meio de pesquisas bibliográficas, pesquisa em sites oficiais e pesquisa documental.

Todos os três tipos de fontes bibliográficas foram utilizadas neste estudo.

A principal fonte bibliográfica desta pesquisa é constituída de artigos científicos que foram publicados em periódicos, os quais se enquadram em um período de tempo de até 15 (quinze) anos da pesquisa, com exceção para artigos mais antigos, de pesquisadores com grande relevância acerca do tema abordado. A pesquisa para localização dos artigos foi encontrada nas bases de dados do Google Acadêmico, Periódicos CAPES e SCIELO.

Foi necessário realizar um levantamento documental para garantir que todo o processo fosse elaborado cumprindo as exigências da legislação vigente. Dentre os documentos analisados, estão a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305/10 e legislações ligadas ao uso de biogás, energia solar e energia eólica.

4.2 Levantamento e quantificação das fontes geradoras de resíduos orgânicos

Realizou-se uma análise dos volumes dos resíduos sólidos gerados nos diferentes setores da instituição.

O IFMG-*Campus* Bambuí possui um grande número de plantas de produção (laboratórios) que geram um expressivo volume de resíduos sólidos orgânicos. Para desenvolvimento do trabalho, foi necessário o levantamento dos principais resíduos, assim como os volumes gerados. Com base nestes levantamentos, foi possível entender todo o processo de geração de resíduos da instituição, assim como definir quais seriam os resíduos mais adequados para geração de biogás. Outro aspecto importante para a compreensão total da geração de resíduos no *Campus* foi o levantamento dos locais onde existem fontes geradoras, conforme pode ser verificado na Figura 7.



Figura 7 - Foto da Vista aérea do IFMG-Campus Bambuí com a localização dos pontos de geração de resíduos
Fonte: Google Maps, (2015)

Os números contidos na Figura 7 representam o local da fonte geradora de resíduo, conforme descrito a seguir. Em cada local, foram realizados os levantamentos da geração de resíduos orgânicos, que serviram como base de dados para os cálculos do potencial de geração de energia.

- 1- **Laboratório de Suinocultura:** foram calculados os volumes de resíduos gerados por cada um dos tipos de animais: matriz, reprodutor, leitões e adultos. Os volumes de esterco gerados levam em consideração os valores médios de geração de resíduo de cada um desses animais, de acordo com Oliva *et al.* (2002), multiplicado pelo número de animais existentes na unidade.
- 2- **Laboratório de Bovinocultura:** foram usados como parâmetro os valores médios de resíduos gerados por animal em confinamento, segundo Freitas (2008), multiplicado pelo número de animais do setor.
- 3- **Resíduo orgânico Restaurante (R.U):** efetuou-se a contabilização dos volumes de alimentos descartados diariamente no restaurante. Na unidade, é realizada a pesagem diária dos resíduos descartados, e os valores são registrados em planilha manual para controle do setor. Esses dados foram digitalizados e somados para gerar os valores de consumo mensal.

4- Resíduos da avicultura: foram coletados separadamente e foi realizada uma análise das médias dos resíduos gerados.

Separaram-se 60 frangos de corte, 50 galinhas de postura leve e 40 galinhas de postura semipesada, de idades correspondentes às das tabelas contidas na literatura. Os animais foram acondicionados em local apropriado e separados dos demais, sendo coletados separadamente os estercos gerados por eles. Este material foi pesado para obtenção da massa de cama de frango gerado pelos animais em confinamento.

Para realização do experimento de definição da quantidade de cama de frango gerada no processo de corte, empregou-se a estrutura da Figura 8.



Figura 8 - Baias de teste de geração de cama de frango
Fonte: Próprio autor, 2016

Cada baia possui 1 m² de área, desta forma os animais foram acondicionados nas baias de acordo com a densidade utilizada no galpão de produção, sendo 12 animais por m², ou seja 12 animais por baia. Cinco baias foram utilizadas para realização do experimento, totalizando assim 60 frangos de corte no sistema. Em cada uma das baias, colocou-se casca de arroz na proporção utilizada no processo produtivo, 0,10 metros de altura. As condições de alimentação e iluminação foram mantidas de acordo com a prática dos galpões.

Ainda pintinhos os animais foram inseridos no sistema e permaneceram nele durante 45 dias, tempo indicado para o fim do ciclo e abate. Ao final do período, os resíduos foram coletados e pesados separadamente, de acordo com a baia (Figura 9). Após a coleta dos dados, efetuou-se uma análise estatística para determinar a quantidade média de geração de cama de frango por animal por dia de confinamento.



Figura 9 - Cama de frango recolhida para análise de volume de geração
Fonte: Próprio autor, 2016

Para o dimensionamento da excreta gerada na avicultura de postura, foi realizada a coleta do resíduo da área de 10 gaiolas para galinhas poedeiras semipesadas e 10 gaiolas para galinhas poedeiras leves. As gaiolas do sistema possuem a dimensão de 100 x 43 x 41 cm (frente x altura x profundidade) e acondicionam individualmente 4 galinhas de postura semipesada e 5 galinhas de postura leve.

Para garantir a confiabilidade do processo de coleta de excreta, as gaiolas experimentais foram afastadas das gaiolas de processo, e a coleta ocorreu no trigésimo dia (Figura 10) após a separação das gaiolas. Os animais afastados permaneceram dentro do mesmo galpão, e a alimentação e as condições operacionais foram mantidas conforme o padrão operacional da instalação.



Figura 10 - Gaiola de teste para coleta de excretas das galinhas poedeiras
Fonte: Próprio autor, 2016

Ao final do período, os resíduos foram coletados e pesados. Após a coleta dos dados, realizou-se uma análise para determinar a quantidade média de geração de cama de frango por animal por dia de confinamento.

5- Esterco caprino: foram realizadas a coleta e a pesagem do todo o esterco gerado pelos animais. A coleta foi executada semanalmente, todas as sextas-feiras, durante 60 dias, sendo inseridos na planilha os valores médios encontrados neste período.

4.3. Montagem dos biodigestores experimentais

O tipo de biodigestor simulado no experimento foi do tipo batelada, sendo este carregado no início e somente descarregado ao final do processo. A câmara de biodigestão foi construída com garrafas PET de 2 litros, cobertas com papel alumínio para redução da exposição da biomassa fermentada à luz do sol. A mangueira de condução foi fixada na tampa localizada na parte superior da garrafa com o uso de cola e vedantes.

O gás gerado na câmara foi conduzido a gasômetros fabricados com o uso de tubos de PVC com diâmetros de 50 mm e 75 mm, cortados no comprimento de 50 cm cada. Após o corte, o tubo de 75 mm foi vedado com um tampão e cola de PVC. Para garantir a estabilidade e vedação da estrutura, foi realizado um furo de 8 mm na parte superior do tubo, com o objetivo de funcionar como dreno da água excedente no sistema. O cano de 50 mm foi vedado através do emprego de tampão com o uso de cola para PVC. Os tubos foram sobrepostos e inundados de água, para funcionar como selo d'água e garantir que os gases gerados não escapem. Após a confecção dos gasômetros, foi realizado o teste hidrostático para verificar se o sistema não possuía algum tipo de vazamento, visando evitar falhas durante o processo de produção do gás. Os sistemas de biodigestão podem ser melhor visualizados nas Figuras 11 e 12.

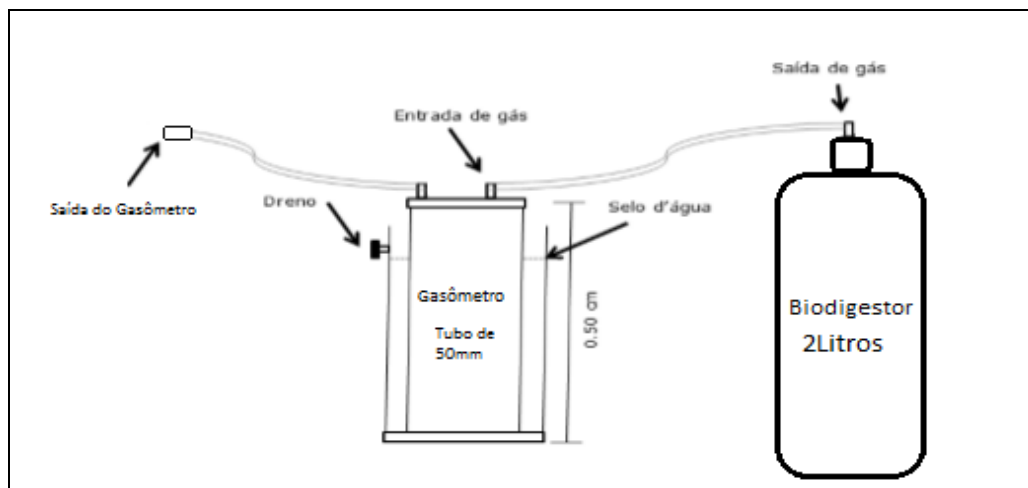


Figura 11 - Croqui da unidade de Biodigestão experimental
Fonte: Próprio Autor, 2016.



Figura 12 - Unidade de Biodigestão experimental
Fonte: Próprio Autor, 2016

O biogás gerado na câmara de biodigestão (garrafa de 2 litros), é transferido para o gasômetro através da mangueira de 6 mm. Quando o gasômetro é abastecido, a parte móvel (cano de 50 mm) se desloca na vertical, gerando assim uma elevação do mesmo. Com base na diferença entre a altura inicial e a altura final foi possível calcular o volume de gás gerado.

Os biodigestores foram instalados sobre uma bancada de madeira, a temperatura ambiente, sendo todas as amostras expostas às mesmas condições ambientais.

Os conjuntos de biodigestores foram instalados nos laboratórios em 25 de janeiro de 2016. A variável analisada foi a altura do gasômetro (em cm), sendo que o controle e as medições do experimento foram feitos diariamente, às 17h30min, quando o gás era analisado, e o gasômetro, zerado.

Para calcular o volume de gás produzido em cm³, utilizou-se a Equação 4:

$$V = (\pi * r^2 * h) \quad (4)$$

Equação 4 - Volume de gás produzido

Legenda:

π = Pi (3,14...)

r= Raio do tubo (2,5cm)

h= Altura do gasômetro

Os biodigestores foram divididos em quatro conjuntos, compostos por cinco biodigestores cada conjunto. Cada biodigestor foi alimentado com uma mistura de cama de frango e excreta.

Para o experimento, foram coletados, nos galpões de produção, 30 kg de cama de frango e 40 kg de excreta de poedeira. Os materiais foram misturados separadamente até se tornarem uma massa homogênea. As amostras foram homogeneizadas e quarteadas, sendo $\frac{3}{4}$ descartados. Após o quarteamento, separaram-se as amostras padrão (sem mistura), e o restante foi misturado na proporção de 66 gramas de cama de frango para cada 108 gramas de excreta de poedeira, de forma a garantir a proporcionalidade em relação à geração real de resíduos em cada processo.

O experimento foi inteiramente casualizado (DIC) e foram realizadas cinco repetições para cada tipo de concentração. O tempo de retenção hidráulica foi de 90 dias, que representa o tempo previsto entre as recargas do biodigestor, este tempo levou em consideração o intervalo padrão de limpeza dos galpões da avicultura adotado nas instalações do IFMG-Bambuú. As amostras foram divididas em amostra A (proporção de uma parte de matéria orgânica para três partes de água), amostra B (uma parte de matéria orgânica para quatro partes de água), amostra C (uma parte de matéria orgânica para cinco partes de água) e amostra D (uma parte de matéria orgânica para cada seis partes de água). Todas as concentrações foram replicadas cinco vezes, com o intuito de aferir a consistência dos dados, conforme disposto na Tabela 6.

Tabela 6- Disposição dos biodigestores experimentais

Concentração de 1:3	Concentração de 1:4	Concentração de 1:5	Concentração de 1:6
Amostra A1	Amostra B1	Amostra C1	Amostra D1
Amostra A2	Amostra B2	Amostra C2	Amostra D2
Amostra A3	Amostra B3	Amostra C3	Amostra D3
Amostra A4	Amostra B4	Amostra C4	Amostra D3
Amostra A5	Amostra B5	Amostra C5	Amostra D4

Fonte: Próprio autor, 2016

Os dados foram tratados com o uso dos softwares estatísticos Minitab, Microsoft Excel, Assistat e R *statistic*. Os testes estatísticos realizados para a análise dos dados foram levantamento de médias de geração de biogás em cada tratamento e análise de variância (Anova), para determinar a correlação entre as diferentes diluições de matéria orgânica no biodigestor.

4.3.1 Materiais para fabricação dos biodigestores experimentais

Para a fabricação dos biodigestores, foram utilizadas 20 garrafas de Poli Tereftalato de Etileno - PET - com capacidade de dois litros cada, conforme Figura 13. Para a realização do estudo, as garrafas foram higienizadas com água e detergente neutro, lavadas em uma solução de água e detergente e, em seguida, foram mantidas com a boca para baixo durante 10 minutos, visando ao escorrimento total da água do processo. As garrafas foram envolvidas em papel-alumínio para eliminar a incidência de luz sobre a mistura de matéria orgânica e água. Fez-se um furo de 6 mm na tampa da garrafa para inserção de uma mangueira de condução do biogás gerado para o gasômetro.



Figura 13- Garrafas PET
Fonte: Próprio Autor, 2016

Foram empregadas mangueiras plásticas transparentes com diâmetro de 6 mm para transporte do gás entre as etapas do processo de biodigestão e de utilização do gás, de acordo com a Figura 14.



Figura 14 - Mangueiras 6mm
Fonte: próprio autor, 2016

Para a fabricação dos gasômetros utilizou-se tubos de Poli Cloreto de Vinila – PVC - com 50 mm e 75 mm, cortados com 50 cm de diâmetro, sendo usados tampões para fechamento dos referidos tubos, conforme Figura 15.



Figura 15- tubo de PVC
Fonte: próprio autor, 2016

Para análise do gás gerado, empregou-se um analisador do tipo Instruterm Exp-200 (Figura 16). Após medição diária do volume de biogás gerado, a ponta do instrumento era inserida na mangueira de saída do gasômetro e os dados referentes ao volume de metano no biogás apresentados na tela do instrumento eram anotados em planilha eletrônica para posterior análise da concentração média de metano no biogás produzido.



Figura 16 - Analisador de gás
Fonte: Próprio autor, 2016

O tratamento para análise dos dados foi realizado por meio dos softwares estatísticos Microsoft Excel, R *statistic* e Minitab.

4.3.2 Procedimento para determinação da quantidade de sólidos nas amostras

Para determinar a quantidade de sólidos totais, foram realizados procedimentos seguindo o Método Gravimétrico, apresentado por ABNT/NBR 10664 (1989). Todos os testes foram feitos em triplicata, sendo os valores apresentados no presente estudo o resultado das médias dos valores amostrais obtidos nos testes.

- 1- Primeiramente, retirou-se a amostra dos galpões de produção. Foram recolhidos 4 kg de cama de frango e 8 kg de excreta de poedeira. As amostras foram homogeneizadas e quarteadas, sendo moídos 1 kg de cama de frango e 2 kg de excreta de poedeira. Após a moagem, os materiais foram misturados proporcionalmente aos volumes de produção novamente, sendo retirados 750 gramas da mistura para a realização do experimento (Figura 17).



Figura 17 - Moagem: moinho e mistura final
Fonte: Próprio Autor, 2016

- 2- Foram feitas as limpezas dos cadinhos com capacidade de 100 ml, que foram aquecidos a uma temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$ na estufa durante 4 horas (Figura 18). Os cadinhos foram transferidos para o dessecador e, quando atingiram a temperatura ambiente, foram pesados em balança de precisão de 0,1 mg.



Figura 18 - Secagem dos cadinhos
Fonte: Próprio Autor, 2016

- 3- Efetuaram-se as pesagens das amostras da mistura de cama de frango + excreta de poeira conforme já descrito anteriormente na metodologia. Realizou-se a mistura da matéria orgânica com a água, que foi medida em um cilindro graduado. Ambos os materiais foram unidos no Baker de 500 ml e misturados até se tornarem visualmente homogêneos, conforme Figura 19.

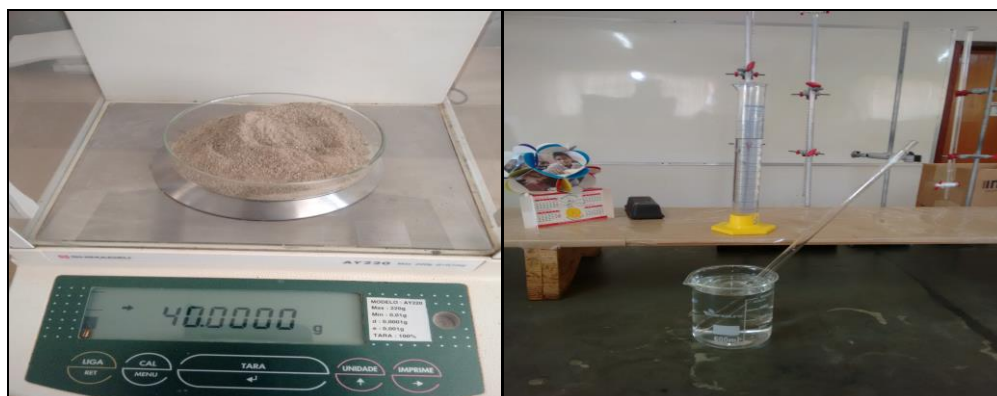


Figura 19 - Pesagem e diluição
Fonte: Próprio Autor, 2016

- 4- Foram inseridos 100 ml de mistura, conforme a amostra, no cadinho de porcelana (Figura 20).



Figura 20 - Dosagem das diluições nos cadinhos
Fonte: Próprio Autor, 2016

- 5- Os cadinhos foram colocados na estufa com circulação forçada, Figura 21, com o objetivo de realizar a evaporação da água até promover a secura. Os cadinhos permaneceram a uma temperatura de $65^{\circ}\text{c} \pm 5^{\circ}$ durante 72 horas.



Figura 21 - Estufa de pré-secagem
Fonte: Próprio Autor, 2016

- 6- Os cadinhos foram transferidos para a estufa sem ventilação forçada a uma temperatura de $105^{\circ}\text{c} \pm 2^{\circ}$ durante 1 hora (Figura 22). Após esse tempo, foram retirados da estufa, esfriados no dessecador e pesados em balança de precisão.



Figura 22 - Secagem do material na estufa
Fonte: Próprio Autor, 2016

- 7- Para dimensionar os sólidos fixos e voláteis, os cadinhos pesados na etapa de determinação dos sólidos totais foram inseridos na mufla a uma temperatura de $550 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 60 minutos (Figura 23), sendo posteriormente esfriados no dessecador durante 60 minutos e pesados em seguida.



Figura 23- Calcinação das amostras
Fonte: Próprio Autor, 2016

Para realizar o cálculo dos sólidos totais da amostra, foram utilizadas as Equações 5, 6 e 7 descritas abaixo:

$$\text{mg de sólidos totais/L} = \frac{(X - Y)}{V} \quad (5)$$

Equação 5 - Sólidos Totais

$$\text{mg de sólidos totais voláteis/L} = \frac{(W - Z)}{V} \quad (6)$$

Equação 6 - Sólidos Voláteis

$$\text{mg de sólidos totais fixos/L} = \frac{(Z - Y)}{V} \quad (7)$$

Equação 7 - Sólidos Fixos Totais

Onde:

- X: peso da amostra mais o da cápsula, em mg;
- Y: peso da cápsula vazia, em mg;
- Z: Peso da cápsula depois da calcinação, em mg;
- W: Peso da cápsula antes da calcinação, em mg;
- V: Volume da amostra em litros.

4.4. Projeto de painéis fotovoltaicos

Foi confeccionado um projeto teórico de um sistema fotovoltaico com capacidade adequada para atendimento às necessidades de energia elétrica levantadas durante o processo de coleta de dados. Os dados usados para cálculo do dimensionamento foram extraídos dos catálogos de informações técnicas dos fabricantes dos componentes.

4.5. Projeto de aerogeradores

No local estudado, existe uma estação metrológica que realiza a medição constante da velocidade do ar. Coletaram-se os dados de medição da velocidade do ar, através do site do Instituto Nacional de Meteorologia (2016), dos dois últimos anos de medição da estação, para verificação da viabilidade técnica de instalação de aerogeradores. Os dados foram convertidos em um gráfico para facilitar a análise.

4.6. Estudo de viabilidade financeira

Foi realizado o levantamento do consumo de energia elétrica no processo de criação dos frangos de corte e de postura, assim como os custos referentes ao uso desta energia. Os galpões têm como principal foco de seu uso a iluminação, o aquecimento e a movimentação de maquinário para alimentação dos animais. Em visita “*in loco*”, foram feitos os levantamentos dos pontos de consumo, compilados posteriormente em planilhas eletrônicas.

Elaborou-se um estudo de viabilidade financeira através da utilização das seguintes técnicas tradicionais de análise de investimento: *Payback* descontado, VPL, TIR e IBC. Optou-se pelo uso dessas técnicas por serem consideradas, por especialistas da área, conforme referencial teórico, as mais confiáveis e assertivas. A análise financeira considerou três cenários, sendo o primeiro a substituição das lâmpadas fluorescentes usadas atualmente por lâmpadas do tipo LED, o segundo a implantação de um sistema de biodigestão e a substituição das lâmpadas do tipo fluorescentes pelas do tipo LED, caracterizada no cenário 01; e o cenário 3, a complementação do cenário 2, com a instalação de um sistema de energia solar.

4.7. Limitações de estudo

O estudo foi realizado nas dependências do IFMG-*Campus* Bambuí, devido à estrutura existente no local da pesquisa. O Instituto Federal-campus Bambuí foi criado em dezembro de 2008 a partir do antigo CEFET-Bambuí (Centro Federal de Educação Tecnológica). A instituição possui uma área de campus de 328,76 hectares e cerca de 40 mil metros quadrados de construções, onde são oferecidos cursos profissionalizantes, de Ensino Médio, de graduação (Tecnologia, Bacharelado e Licenciatura) e pós-graduação. A instituição possui mais de dois mil alunos e um corpo docente composto por 111 professores, 122 servidores da área administrativa e além de trabalhadores terceirizados (IFMG, 2015).

O biogás é um composto que possui várias aplicações, podendo ser usado tanto para geração de energia térmica como para geração de energia elétrica, através de turbinas, geradores movidos a motores de combustão interna ou de caldeiras (UCZAI, 2012).

O biogás produzido por meio do sistema de geração estudado será usado como fonte de energia térmica ou em substituição ao gás GLP - Gás Liquefeito de Petróleo - utilizado nos aquecedores, assim como para geração de energia elétrica através de motor de ciclo de Otto.

O uso da energia solar e eólica terá o foco em iluminação e alimentação de sistemas elétricos de climatização e alimentação dos animais, através de inserção da energia gerada na linha de distribuição da concessionária de fornecimento de energia, chamado de sistema *Grid-tie*.

5. RESULTADO E DISCUSSÃO

5.1. Levantamento do potencial energético

Os setores de produção tem como sua principal função a geração de atividades práticas para os alunos da instituição e como atividade secundária o abastecimento do Restaurante universitário. O excedente da produção é vendido no posto de vendas do IFMG e a renda é convertida em insumos para abastecimento dos setores produtivos. Esses setores, assim como a maioria dos processos produtivos, além gerarem produtos geram resíduos, em relação à instituição, maior parte desses resíduos são compostos de matéria orgânica.

Foi realizado o levantamento da geração de resíduos orgânicos nos setores e com base nesse levantamento foi possível dimensionar o potencial de geração de energia a partir desses resíduos.

5.1.1. Laboratório de Suinocultura

Durante a etapa de coleta de dados na suinocultura a unidade contava com um total de 271 animais em fases distintas do processo. Para obtenção do volume de esterco gerado foram consideradas as médias de geração de esterco suíno, apresentados por Oliveira (1993). Após os cálculos de geração os dados gerados foram descritos na tabela 7.

Tabela 7 - Levantamento da geração de resíduos orgânicos no Laboratório de Suinocultura

Suínos	Gestação (un.)	Maternidade (un.)	Creche (un.)	Terminação (un.)	Média kg esterco por un./dia *	Tempo de conf. Em horas	Total médio kg. /dia
Matriz	15	4	-	-	3,60	24	68,40
Reprodutor	3	-	-	-	3,00	24	9,00
Leitões	-	38	111	-	0,35	24	52,15
Adultos	-	-	-	100	2,30	24	230,00
Total	18	42	111	100	-	24	359,55

Fonte: Próprio autor, 2016

* Fonte: Oliveira, 1993

A geração diária de esterco suíno é em média 359,55 Kg. Todo este material é recolhido e enviado para um biodigestor instalado no setor.

5.1.2. Bovinocultura

O setor de bovinocultura possuía na data da coleta dos dados um total de 31 vacas leiteiras, estes animais são mantidos em confinamento durante 8 horas diárias, ao final deste período os animais são levados para pastagem aberta e o confinamento é limpo e o esterco gerado é enviado para esterqueiras posicionadas ao lado das instalações. O esterco permanece na esterqueira durante 3 meses e depois é utilizado com adubo orgânico para as diversas plantações. Após análise foi encontrado um valor de geração média de 186,00 Kg de esterco bovino, conforme tabela 8.

Tabela 8 - Levantamento da geração de resíduos orgânicos no Laboratório de Bovinocultura

Bovino de Leite	Un.	Média kg esterco por un. *	Tempo de confinamento em horas	Total médio kg. de esterco/dia
Confinado	31	12,00	8,00	186,00

Fonte: Próprio autor, 2016

*Fonte: Souza, 2004

5.1.3. Resíduo orgânico Restaurante (R.U)

O Restaurante Universitário do *campus* Bambuí serve em média 1500 refeições diárias. Todos os resíduos de produção e as sobras de alimentos dos pratos são contabilizados diariamente através da pesagem destes resíduos, essas pesagens são registradas para acompanhamento mensal, sendo os dados referentes a 2015 demonstrados na tabela 9.

Tabela 9 - Levantamento da geração de resíduos orgânicos no R.U

Mês/ano	Resíduos ger. (Kg.)	Mês/ano	Resíduos o ger. (Kg.)
Jan/15	0,00	Jul/15	60,00
Fev/15	624,30	Ago/15	620,50
Mar/15	679,40	Set/15	635,40
Abr/15	621,60	Out/15	611,30
Mai/15	615,80	Nov/15	673,90
Jun/15	640,20	Dez/15	610,50
Geração. Média			532,70

Fonte: Próprio autor, 2016

5.1.4. Cama de frango aves

Os resíduos da avicultura representam uma das maiores gerações de resíduos do instituto e para dimensionar a quantidade de resíduos desses processos, foi realizada uma amostragem relativa à produção de cama de frango, conforme detalhamento na metodologia deste trabalho. Após o experimento, os animais foram retirados para o abate, e os resíduos foram separados e pesados, gerando os resultados contidos na Tabela 10.

Tabela 10 - Geração de cama de frango (corte)

Baia	Peso total (Kg)	Kg dia ⁻¹	Kg ave ⁻¹
1	20,120	0,447	0,045
2	20,340	0,452	0,045
3	19,520	0,434	0,043
4	19,980	0,444	0,044
5	19,846	0,441	0,044
Média	19,961	0,444	0,044

Fonte: Próprio autor, 2016

A amostragem dos resíduos das galinhas poedeiras foi realizada por meio da retirada diária da bandeja de contenção inserida na gaiola das poedeiras. Após o período de 30 dias, os resíduos foram pesados e demonstrados nas Tabelas 11 e 12.

Tabela 11 - Geração de cama de frango (postura leve)

Gaiola	Peso total (Kg)	Kg dia ⁻¹	Kg ave ⁻¹ dia ⁻¹
1	4,80	0,16	0,040
2	4,75	0,16	0,040
3	4,56	0,15	0,038
4	4,90	0,16	0,041
5	4,85	0,16	0,040
6	4,90	0,16	0,041
7	4,65	0,16	0,039
8	4,87	0,16	0,041
9	4,98	0,17	0,042
10	4,37	0,15	0,036
Média	4,76	0,16	0,040

Fonte: Próprio autor, 2016

Tabela 12 - Geração de cama de frango (postura semipesada)

Gaiola	Peso total	Kg dia ⁻¹	Kg ave ⁻¹ dia ⁻¹
1	6,13	0,20	0,051
2	5,95	0,20	0,050
3	6,20	0,21	0,052
4	5,89	0,20	0,049
5	5,95	0,20	0,050
6	5,84	0,19	0,049
7	5,71	0,19	0,048
8	6,25	0,21	0,052
9	6,39	0,21	0,053
10	5,87	0,20	0,049
Média	6,02	0,20	0,050

Fonte: Próprio autor, 2016.

Com base nos índices de média encontrados no processo de amostragem e a quantidade de animais, foi gerada a Tabela 13, que demonstra os volumes estimados de geração de resíduos orgânicos.

Tabela 13 - Geração de resíduos orgânicos de avicultura

Aves	Un.	Média kg. esterco por un.	Total médio kg. de esterco/dia
Corte	1.500	0,044	66,00
Postura Leves	200	0,040	8,00
Postura Semipesadas	2.000	0,050	100,00
Total	3.700		174,00

Fonte: Próprio autor, 2016

5.1.5. Esterco caprino

Na data da coleta dos dados o setor de caprinocultura contava com um total de 44 animais em diversas fases do processo. Esses animais são mantidos em confinamento durante 24 horas. Os dados de geração média de resíduos estão contidos na tabela 14.

Tabela 14 - Levantamento da geração de resíduos orgânicos no setor de Caprinocultura

Caprinos/ovinos	Un.	Média kg. esterco por un.	Tempo de confinamento em horas	Total médio kg. de esterco/dia
Cabras Lactação	14	0,80	24	11,20
Cabras Adultas	7	0,80	24	5,60
Cabritos	21	0,80	24	16,80
Reprodutor	2	0,80	24	1,60
Total	44	-	-	35,20

Fonte: Próprio autor, 2016

Para facilitar o entendimento em relação à geração de resíduos orgânicos no IFMG - campus Bambuí foi criada a Tabela 15 com todos os resíduos orgânicos dos setores de produção. Com base nestes dados foi possível calcular o potencial de geração de energia elétrica.

Tabela 15 - Geração de resíduos orgânicos no IFMG-Campus Bambuí

	Esterco bovino	Esterco suíno	R.U	Cama de frango	Esterco caprino	Total
Kg/dia	186	359,55	17,76	174	35,2	772,51
Kg/mês	5.580,00	10.786,50	532,7	5.220,00	1.056,00	23.175,20
Kg/ano	66.960,00	129.438,00	6.392,40	62.640,00	12.672,00	278.102,40

Cada um dos resíduos descritos acima possui diferente potencial energético. Dessa forma foi possível realizar os cálculos de geração de biogás de forma individual através do uso dos rendimentos de geração de cada um dos resíduos que podem ser observadas na Tabela 16.

Tabela 16 - Rendimento do biogás em cada resíduo orgânico

Composto	Esterco bovino	Esterco suíno	R.U.	Cama de frango	Esterco caprino
Volume (m³) /kg	0,037	0,062	0,062	0,1	0,065
% médio de metano (CH₄)	60%	66%	55%	60%	60%

Fonte: Próprio autor, 2016

Com base nos dados descritos nas Tabelas 15 e 16, foi possível calcular o potencial energético contido nos resíduos orgânicos gerados. Para se calcular os volumes de biogás gerados, tem-se a Equação 8, com a qual foi gerada a Tabela 17, que fornece a quantidade potencial de geração de biogás e de metano a partir dos resíduos sólidos gerados.

$$\text{Volume Biogás.Total} = \text{Quantidade de resíduo (Kg)} * \text{Regimento específico (M}^3\text{/Kg)} \quad (8)$$

Equação 8 - Potencial de geração de biogás e de metano a partir dos resíduos sólidos

Tabela 17 - Potencial de geração de biogás/Metano

	Esterco bovino	Esterco suíno	R.U	Cama de frango	Esterco caprino	Total
Vol. (m3) de gás diário	6,88	22,29	1,1	17,4	2,29	49,96
Concentração de metano (m3)	4,13	14,71	0,66	10,44	1,37	31,31
Vol. (m3) de gás mensal	206,46	668,76	33,03	522	68,64	81,27
Concentração de metano (m3)	123,88	441,38	19,82	313	41,18	939,26
Vol. (m3) de gás anual	2.477,52	8.025,16	396,33	6264	823,68	17.986,69
Concentração de metano (m3)	1.486,51	5.296,60	237,8	3756	494,21	11.271,12

Fonte: Próprio autor, 2016

Conforme Junior (2009), para cada 94, 962 m³ de metano é possível gerar 1 MW de potência. Sendo assim, para o cálculo do potencial de geração de energia contido no biogás que poderá ser produzido no IFMG-Campus Bambuí, pode-se empregar a equação 9, expressa a seguir.

$$\text{Potencial energético} = \text{Volume total de Metano (m}^3\text{)} * 1\text{MW} / 94, 962\text{m}^3 \quad (9)$$

Equação 9 - Potencial de geração de energia

A Tabela 18 contém os cálculos diários, mensais e anuais do potencial de geração de energia dos resíduos produzidos no Campus Bambuí. Os valores apresentados são absolutos e dependem do rendimento dos equipamentos usados para geração de energia.

Tabela 18 - Potencial de geração de energia em MW

	Esterco bovino	Esterco suíno	R.U	Cama de frango aves	Esterco caprino	Total
Concentração de metano (m3)	4,13	14,71	0,66	10,44	1,37	31,31
Potencial em MW diário	0,043	0,155	0,007	0,110	0,014	31,31
Concentração de metano (m3)	123,88	441,38	19,82	313	41,18	939,26
Potencial em MW MENSAL	1,30	4,65	0,21	3,30	0,43	9,89
Concentração de metano (m3)	1.486,51	5.296,60	237,8	3756	494,21	11.271,12
Potencial em MW ANUAL	15,65	55,78	2,50	39,55	5,20	118,68

Fonte: Próprio autor, 2016

Os resultados apresentados na tabela 18 não levam em consideração as perdas do sistema, ou seja, a grande maioria dos processos de conversão de energia não tem potencial de 50% de fator de correção. Assim, é necessário analisar a melhor forma de extrair essa energia e utilizá-la no processo de avicultura.

5.2. Análise dos tipos de biodigestor mais indicados

Após análise de volumes e tipos de resíduos gerados, foi possível perceber a existência de um grande potencial energético a ser explorado dentro do *Campus* Bambuí. Tendo como base o objetivo do estudo, foram necessárias duas definições importantes: quais os tipos de resíduos a serem utilizados para geração do biogás e qual o melhor modelo de biodigestor a ser adotado.

Para determinar a escolha dos resíduos a serem utilizados, foi necessário levar em consideração o volume de produção. Pode-se destacar, conforme o gráfico da Figura 24, que a quantidade de cama de frango produzido na avicultura representa a terceira maior concentração de todas as fontes geradoras. Os estercos das aves alcançam médias anuais de 62.640,00 kg. A opção por este material levou em conta que os resíduos da suinocultura já são tratados em um biodigestor desenvolvido em um projeto de pesquisa na instituição, e que o esterco bovino, apesar de interessante para o estudo, já possui destinação, pois é utilizado como adubo orgânico em culturas dentro do *campus*.

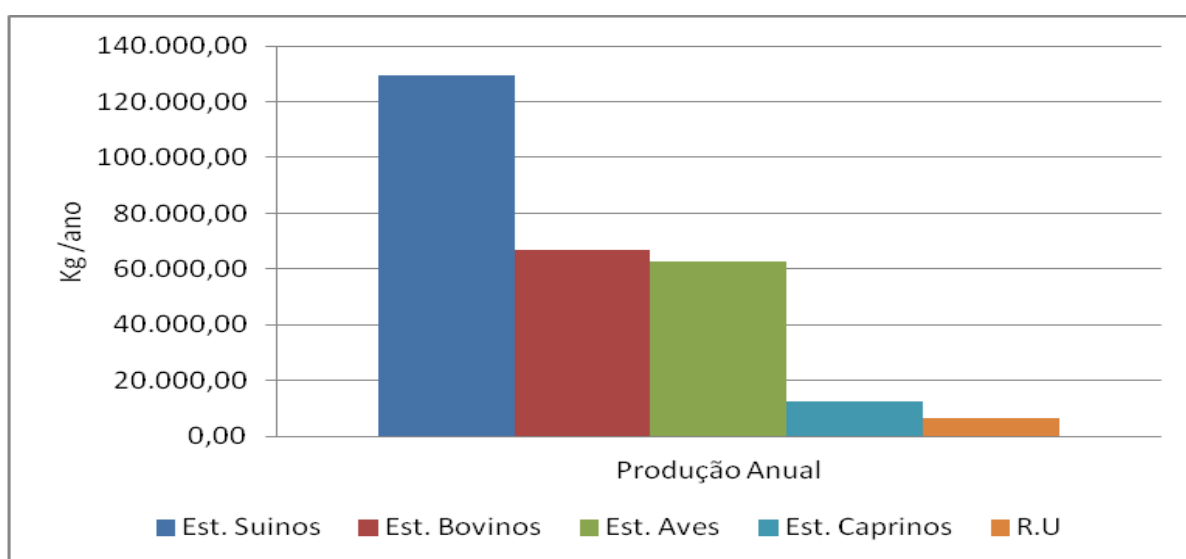


Figura 24- Gráfico da Produção de resíduos IFMG-Bambuí

Fonte: Próprio autor, 2016

Outro aspecto importante do esterco das aves é a qualidade e a estabilidade, pois as aves são tratadas com uma dieta padrão por um tempo controlado, além de permanecerem em confinamento em tempo integral. Quando se conta com um material constante, tem-se como consequência um processo de geração de biogás mais estável e com garantia de fornecimento de energia. O processo de produção de resíduos orgânicos na avicultura é considerado por batelada, e o intervalo de troca de cultura praticado na instituição é de 48 dias, além dos 3 dias para a retirada de toda a cama, tendo, assim, um *lead time* total de processo de 51 dias. Os demais materiais podem ser utilizados como complementos à matéria orgânica da avicultura ou até mesmo como inoculantes, de forma a garantir uma maior geração de gás.

Em relação ao tipo de biodigestor, foram considerados os aspectos técnicos operacionais e o custo de implantação. Tomando-se como base os modelos mais usados no Brasil, foram comparados os modelos indiano, chinês, batelada e horizontal (canadense) (SOTTI, 2014). Optou-se por adotar como modelo para uso no projeto o biodigestor do tipo horizontal (canadense), tendo como base a boa relação custo-benefício já apresentada na metodologia deste trabalho e por possuir um menor custo de manutenção.

5.3. Local de instalação do sistema de geração de gás

Um dos princípios básicos do projeto de fábrica é a necessidade de instalação das unidades produtivas o mais perto possível das matérias-primas ou dos clientes, tendo como fatores decisivos os custos e as legislações (SLACK, 2010). No projeto, a decisão de instalação foi em local próximo à matéria-prima, devido à existência de maior área disponível para colocação da planta. Após essa definição, foram consideradas as posições geográficas dos galpões de produção e os volumes de materiais a serem deslocados, objetivando, assim, encontrar o ponto mais adequado para a localização das instalações entre os pontos de geração. Os locais onde estão localizados os galpões podem ser visualizados na Figura 25.

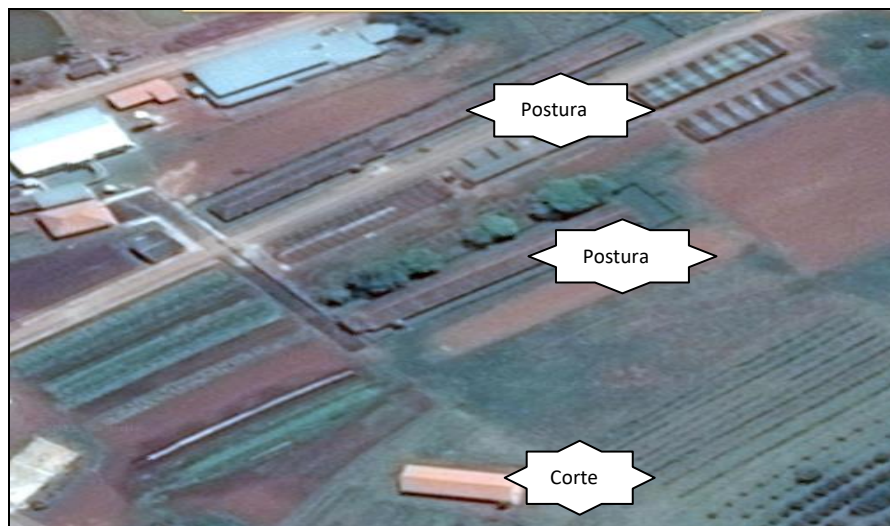


Figura 25 – Foto Vista aérea do IFMG-*Campus* Bambuí – Localização dos galpões da Avicultura
Fonte: Adaptação do próprio autor; Google Maps, (2015)

A Figura 26 demonstra o ponto definido para instalação do equipamento:



Figura 26 - Vista aérea do IFMG-*Campus* Bambuí – local indicado para a instalação biodigestor
Fonte: Adaptação do próprio autor; Google Maps, (2015)

O local de instalação levou em consideração a distância entre as fontes geradoras e a disponibilidade de espaço na instituição. A área disponível para instalação do biodigestor é de 1.000 m². As demais áreas próximas aos galpões são destinadas ao plantio de hortaliças, que servem como laboratório para os discentes do *campus* e também complementam a alimentação fornecida pelo Restaurante Universitário.

5.4. Necessidade energética dos processos

5.4.1. Avicultura de corte

A Tabela 19 apresenta a identificação dos equipamentos e seus respectivos consumos de energia, nos galpões do setor de frangos de corte da instituição.

Tabela 19 - Fontes de consumo de energia no processo de avicultura de corte

	QUANT.	CONSUMO/ UNIDADE (Watts)	CONSUMO TOTAL (Watts)
Lâmpadas fluorescentes	18	23,0	414,0
Motor do comedor	2	735,5	1.471,0
Motor de tração do silo	1	735,5	735,5
Bomba do nebulizador	1	735,5	735,5
Ventilador	4	338,3	1.353,3
Aquecedor a gás	4	2.500,0	10.000,0

Fonte: Próprio autor, 2016

Foi realizado o cálculo do consumo total médio de energia elétrica. A Tabela 20 demonstra como ocorre a distribuição do consumo de energia elétrica, ou seja, sem os aquecedores a gás, no setor nos períodos de primavera e verão, e nos períodos de outono e inverno. Tal levantamento se fez necessário por possuir consumos sensivelmente diferentes nestes períodos.

Tabela 20 - Consumo mensal de energia elétrica no processo de avicultura de corte

EQUIPAMENTO	CONSUMO TOTAL (Watts)	Tempo médio de uso diário Prim./Verão	Tempo médio de uso diário Out./Inverno	Total (watts)	Total 2 (watts)	Total 3 (watts)
				Prim./Verão	Out./Inverno	Média Mensal
Lâmpadas fluorescentes	414	8	8	99.360,00	99.360,00	99.360,00
Motor do comedor	1.471,00	1	1	44.130,00	44.130,00	44.130,00
Motor de tração do silo	735,5	0,5	0,5	11.032,50	11.032,50	11.032,50
Bomba do nebulizador	735,5	10		220.650,00	0,00	110.325,00
Ventilador	1.353,30	10	2	405.990,00	81.198,00	243.594,00
Total	14.745,30			781.162,50	235.720,50	508.441,50

Fonte: Próprio autor, 2016

Considerando-se os valores levantados, conclui-se que, no processo estudado, o consumo médio de energia elétrica é de 508.441,5 Wh/mês. Dessa forma, pode-se afirmar que o consumo mensal médio atual é de 508,45 kWh/mês. Como o custo atual do kWh fornecido pela concessionária é de R\$ 0,81, é possível afirmar que o custo atual com energia elétrica tem a média mensal de R\$ 411,84, ou seja, um custo médio anual de R\$ 4.942,08.

Em relação aos aquecedores, existem vários equipamentos que podem ter como fonte a energia elétrica, a gás, a lenha etc. No processo em questão, é utilizado um equipamento que tem como fonte de energia o gás GLP. Estes equipamentos somente são utilizados nos períodos frios e, principalmente, durante o período da noite. Assim, os custos relacionados com a compra de gás são expressivos. Com base em um levantamento feito “*in loco*”, o volume médio de gás consumido é de 3 botijões de gás a cada novo ciclo de 45 dias, gerando um gasto anual de 24 botijões de gás GLP. O consumo deve levar em conta a relação de energia gerada pelo volume de gás queimado. Como já informado pela Liquigás (2016), cada quilograma de gás GLP equivale a 13,37 kWh. Dessa forma, se relacionarmos o volume consumido e o fator de conversão, é possível afirmar que são consumidos, em média, 2.780,96 kWh/ano que, considerando o valor médio de compra do botijão de gás em na cidade de realização do estudo de R\$ 55,00, em valores atuais, teremos um custo médio anual de R\$ 1.320,00.

5.4.2. Avicultura de postura

Semelhantemente ao processo de avicultura, a Tabela 21 apresenta os levantamentos dos pontos de consumo. Com base nesses dados, o consumo médio anual foi calculado na Tabela 22 que demonstra a distribuição do consumo de energia elétrica, ou seja, sem os aquecedores a gás.

Tabela 21 - Fontes de consumo de energia no processo de avicultura de postura

	QUANT.	CONSUMO/ UNIDADE (Watts)	CONSUMO TOTAL (Watts)
Lâmpadas fluorescentes	52	25	1.196,0
Motor do comedor	2	735,5	1.471,0
Motor de tração do silo	1	735,5	1471,0
Bomba do nebulizador	2	735,5	735,5
Ventilador	10	338,3	3.383,3
Aquecedor	6	2.500,0	15.000,0

Fonte: Próprio autor, 2016

Tabela 22- Consumo médio mensal de energia elétrica no processo de avicultura de postura

EQUIPAMENTO	CONSUMO	Tempo médio de	Tempo médio de uso	Total	Total (watts)	Total (watts)
	TOTAL (Watts)	Uso diário Prim./Verão	Diário Out./Inverno	Prim./Verão	Out./Inverno	Média Mensal
Lâmpadas fluorescentes	1196	6	6	215.280,00	74.520,00	144.900,00
Motor do comedor	1.471,00	1	1	44.130,00	44.130,00	44.130,00
Motor de tração do silo	735,5	0,5	0,5	11.032,50	11.032,50	11.032,50
Bomba do nebulizador	1471	10		441.300,00	0,00	220.650,00
Ventilador	2.029,95	10	2	608.985,00	81.198,00	345.091,50
Total	14.745,30			1.320.727,50	210.880,50	765.804,00

Fonte: Próprio autor, 2016

No processo estudado, o consumo médio é de 765.804,00 Wh/mês. Assim, pode-se afirmar que o consumo mensal médio atual é de 765,81 kWh/ mês. Como o custo atual do kWh fornecido pela concessionária é de R\$ 0,81, é possível dizer que o custo atual com energia elétrica tem a média mensal de R\$ 620,31, ou seja, um custo médio anual de R\$ 7.443,67/ano.

O levantamento do consumo anual de gás GPL usado para aquecimento das pintainhas é de 45 botijões. Como já informado pela Liquigás (2016), cada quilograma de gás GLP equivale a 13,37 kWh. Dessa forma, se relacionarmos o volume consumido e o fator de conversão, conclui-se que são consumidos, em média, 7.821,43 kWh/ano, que, em valores atuais, equivale a R\$ 2.475,00/ano.

5.4.3. Consumo total de energia

O consumo total de energia nos dois processos de produção é apresentado na Tabela 23.

Tabela 23 - Consumo total anual de energia nos processos de avicultura

	Consumo Total em kWh	Custo (R\$/ano)
Avicultura de corte	8.882,36	6262,08
Avicultura de postura	17.011,15	9.918,67
Total	5.868,49	16.180,75

Fonte: Próprio autor, 2016

Em termos financeiros, tem-se os custos anuais com energia o valor de R\$ 16.180,75, o qual será usado como referência nos cálculos de viabilidade financeira.

5.5. Análise das fontes de consumo

O foco deste estudo é a implantação de sistemas de energia renováveis com um baixo custo para o produtor. Para isso, foi necessário analisar, de forma individual, cada ponto de consumo de energia, para determinar quais seriam trabalhados para garantir a maximização do processo de implantação do projeto. Como os equipamentos utilizados na avicultura de corte e de postura são os mesmos, variando apenas o porte, as análises das fontes de consumo foram realizadas de forma conjunta, sendo separadas apenas no final, para facilitar o processo de levantamentos de custo de cada um dos processos. As fontes consumidoras foram divididas em três grandes grupos: Iluminação, Abastecimento e Climatização.

5.5.1. Iluminação

As lâmpadas usadas nos processos são do tipo fluorescente, que, em relação às lâmpadas incandescentes, utilizadas anteriormente, trouxeram um ganho significativo para o processo. Recentemente, foram inseridas no mercado as lâmpadas do Tipo LED, que visam reduzir o consumo de energia para geração de luz.

Segundo Sousa (2011), os LEDs - Lighting Emitted Diodes (Diodos Emissores de Luz) - são componentes semicondutores, semelhantes ao chip de computadores. Possuem como característica a transformação de energia elétrica em luz. Além da clara vantagem financeira apresentada pelo uso da lâmpada de LED, podem-se destacar outras características que viabilizam o seu uso em substituição às lâmpadas fluorescentes:

- Vida útil elevada: reduz os custos com a manutenção do sistema, pois o intervalo de trocas é cerca de quatro vezes maior se comparado ao das lâmpadas fluorescentes.
- Resistência a impactos e vibrações: utiliza tecnologia de estado sólido, aumentando a resistência mecânica da lâmpada.
- Controle dinâmico da cor: pode-se obter um espectro variado de cores, incluindo várias tonalidades de branco, permitindo um ajuste perfeito da temperatura de cor desejada.
- Acionamento instantâneo: não necessita de reatores e tem acionamento instantâneo, mesmo quando está operando em temperaturas baixas.

- Resistente à água: diferentemente da fluorescente, possui alta resistência à água, sendo ideal para evitar defeitos durante o processo de higienização dos galpões.
- Cores vivas e saturadas sem filtros: emite comprimento de onda monocromático, que significa emissão de luz na cor certa (veja espectro de cores), tornando-a mais viva e saturada.
- Ecologicamente correta: não utiliza mercúrio ou qualquer outro elemento que cause dano à natureza.
- Baixo índice de aquecimento: não influencia de forma significativa no ambiente, deixando esta função exclusivamente para o sistema de climatização, economizando energia do sistema no verão.
- Ausência de ultravioleta: não emite radiação ultravioleta.
- Autorrendimento energético: mesmo mantendo a qualidade da iluminação, o consumo de kWh será reduzido em mais de 50%.

Objetivando escolher a melhor tecnologia de iluminação para o processo de avicultura de frangos de corte e galinhas poedeiras, realizou-se uma análise comparativa dos custos, rendimento e consumo dos modelos de lâmpadas mais usuais do mercado (Tabela 24). Esta análise visa demonstrar a viabilidade do uso de novas tecnologias no processo, além de contribuir para a redução os custos operacionais.

Tabela 24 - Comparação dos tipos de lâmpadas mais usadas no processo de avicultura

Sistema	Incandescente	Fluorescente	LED
Potência em Watts	100	25	9
Valor da Lâmpada	R\$ 3,50	R\$ 8,50	R\$ 22,00
Quantidade de lâmpadas	70	70	70
Investimento total	R\$ 245,00	R\$ 595,00	R\$ 1.540,00
Vida útil estimada em horas	600	8000	30000
Custo das lâmpadas por hora	R\$ 0,31	R\$ 0,06	R\$ 0,04
Custo do kWh	0,82	0,82	0,82
Tempo médio de uso em (horas/dia)	8	8	8
kWh	56	14	5,04
Consumo mensal	R\$ 1.377,60	R\$ 344,40	R\$ 123,98
Custo Total Anual	R\$ 16.531,20	R\$ 4.132,80	R\$ 1.487,81

Fonte: Próprio autor, 2016

Com base na análise dos dados, a troca do modelo de lâmpada utilizado atualmente (fluorescente) pelo modelo LED é financeiramente viável, pois o retorno do investimento, apurado pelo método *payback*, se dá em menos de um ano, e a vida útil do produto nos

mesmos níveis de utilização atuais é de 10 anos. Essa troca foi incluída nos cálculos finais do estudo.

5.5.2. Alimentação animal

Os sistemas de distribuição de alimentos para os animais utilizados são todos automatizados e estão em conformidade com a atual tecnologia. O maquinário é dotado de motores de 1 CV e contam com temporizadores e sensores que garantem que as máquinas não irão operar desnecessariamente. Atualmente, o sistema é formado por máquinas alimentadoras compostas de motor, tubulação e rosca sem fim, localizadas dentro do galpão. Outro equipamento vital para o processo é o silo de ração, que possui um motor de tração para sua alimentação. Após análise dos equipamentos, foi constatado que por se tratar de equipamentos que possuem a mais recente tecnologia, desta forma não serão feitas modificações no sistema de alimentação.

5.5.3. Climatização

O sistema é composto de ventiladores, nebulizadores e aquecedores. Os ventiladores possuem motores de 1 CV e são dispostos de forma a garantir uma boa circulação de ar dentro do galpão. Quando a temperatura se eleva, a ponto de influenciar o conforto térmico dos animais, os nebulizadores são acionados para reduzir a temperatura do ambiente.

O sistema de aquecimento é a gás; as coifas geradoras de pontos quentes são posicionadas dentro do galpão de forma a garantir a melhor distribuição de calor possível, e os aquecedores têm a potência de 2500 w cada. Este tipo de aquecedor beneficia o uso de biogás, pois é necessária apenas uma pequena modificação nele para permitir o seu uso. Dessa forma, o atual sistema permite o uso de biogás sem necessidade de investimentos em novos equipamentos.

5.7. Dimensionamento do biodigestor

5.7.1. Volume de biogás produzido

Realizou-se um experimento para definição de uma taxa de geração de biogás de acordo com a quantidade de cama de frango mais excreta de galinha poedeira. Para isso, foram feitas misturas proporcionais à geração real de ambos os materiais. Os resultados obtidos no experimento estão descritos nas Tabelas 25 e 26. Os valores da Tabela 25 demonstram o valor de sólidos totais, voláteis e fixos das amostras inseridas nos biodigestores experimentais e da amostra padrão sem diluição retirada dos galpões de produção. Na Tabela 26, são representados os somatórios de todos os volumes medidos diariamente durante o experimento.

Tabela 25 - Dados de sólidos das amostras em mg/litro

Concentração	Sólidos Totais	Sólidos Voláteis	Sólidos Fixos Totais
Amostra S (Sem diluição)	871,10	128,90	337,37
Amostra A (1:3)	193,17	806,83	106,70
Amostra B (1:4)	144,87	855,13	59,27
Amostra C (1:5)	108,17	891,83	45,57
Amostra D (1:6)	77,53	922,47	26,7

Fonte: Próprio autor, 2016

Tabela 26 - Geração em m³ de biogás nos experimentos

	Amostra A (1:3)	Amostra B (1:4)	Amostra C (1:5)	Amostra D (1:6)
Teste 1	0,0163	0,0203	0,0239	0,0232
Teste 2	0,0162	0,0192	0,0238	0,0230
Teste 3	0,0169	0,0199	0,0238	0,0229
Teste 4	0,0167	0,0197	0,0239	0,0231
Teste 5	0,0165	0,0195	0,0237	0,0231

Fonte: Próprio autor, 2016

Para analisar a influência do teor de água na diluição dos resíduos, foi realizada uma análise de variância de fator único, os dados seguem uma distribuição normal, a qual demonstrou que o teor de água interfere na geração de biogás, conforme pode ser observado no resultado da análise estatística nas Tabelas 27, 28 e 29.

Tabela 27 - Resumo do teste de Anova: fator único da geração de biogás

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Amostra A			16522	69.920
Amostra B	5	98610	19722	16.3920
Amostra C	5	119114	23822,8	14.837,7
Amostra D	5	115223	23044,6	15.653,3

Fonte: Próprio autor, 2016, adaptado de Silva e Azevedo, 2016

Tabela 28 - Teste de Anova: fatores estatísticos na geração de biogás

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0.001686	3	0.000562	820.224**	7,727E-18	5.2922
Dentro dos grupos	0.000011	16	0.000001			
Total	0.001697	19				

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Fonte: Próprio autor, 2016, adaptado de Silva e Azevedo, 2016

Tabela 29 - Teste de comparação das médias: volume de biogás gerado em diferentes diluições

	Vol. Biogás (m ³)
Amostra A	0.016520 d
Amostra B	0.019720 c
Amostra C	0.023820 a
Amostra D	0.023060 b
dms	0.000474
Ponto médio	0.20050
MG	0.20780
CV%	1.26

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Próprio autor, 2016, adaptado de Silva e Azevedo, 2016

Onde:

FV = Fonte de variação

GL = Graus de liberdade

SQ = Soma de quadrado

QM = Quadrado médio

F = Estatística do teste F

MG = Média geral

CV% = Coeficiente de variação em %

dms = Diferença mínima significativa

Com base nos valores de F (820.224) e F crítico (5.2922), apresentados no teste Anova, é possível verificar que existe forte tendência de correlação entre as análises da geração de gás em cada diluição de matéria orgânica em água. Através do teste de Tukey apresentado na tabela 29, foi possível verificar que as amostras diferem estatisticamente entre si, sendo a amostra C a que apresenta melhor resultado. O Gráfico 4 (Figura 27) apresenta o comportamento do processo de geração de gás. Com base nessas informações,

foi possível determinar que a concentração de matéria orgânica que gerou maior volume de biogás para o material estudado foi a amostra C, que apresenta a relação de 1:5. Portanto, o biodigestor será dimensionado com base nesta proporção.

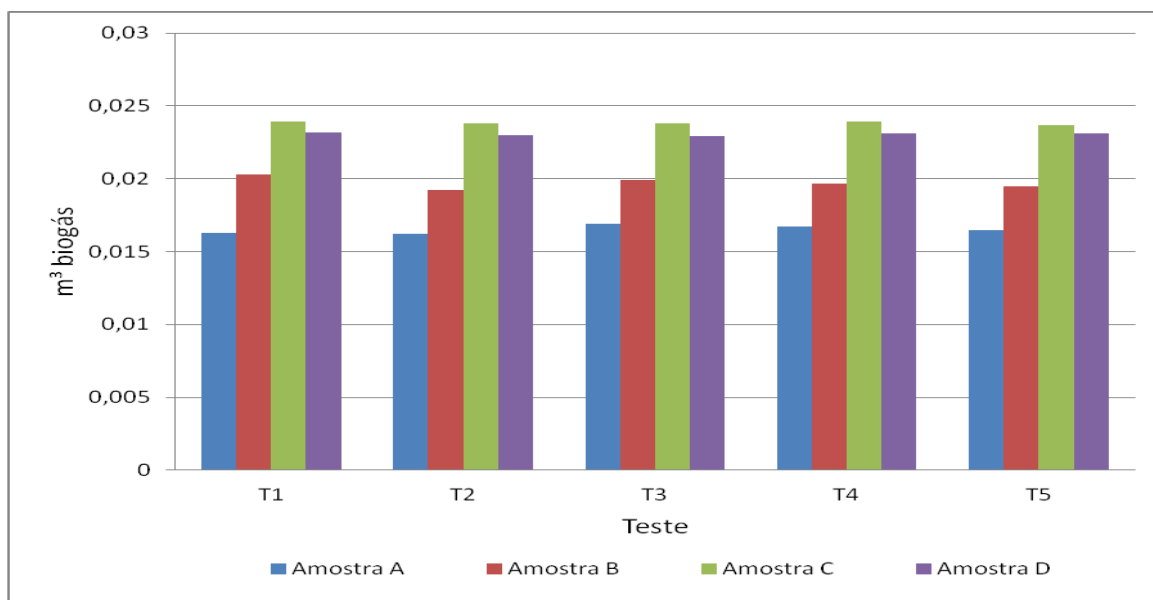


Figura 27 - Gráfico da Geração de biogás com diferentes concentrações de biomassa
Fonte: Próprio autor, 2016

Considerando-se que a quantidade de biomassa inserida em cada amostra foi de 260 gramas, que a concentração adotada será a de 1:5 e que, para efeito de cálculo, será utilizada a média das amostras que são equivalentes à geração de 23.882 cm³ de biogás, empregou-se o princípio da proporcionalidade.

Se para cada 260 g de matéria orgânica foram gerados 23.882 cm³ para cada 1 quilograma de matéria orgânica, pode-se dizer que serão gerados 0,092 m³ de biogás. Com base neste princípio, adotaremos esse índice de conversão como fator de cálculo para a estimativa de biogás gerado no biodigestor projetado neste estudo.

Os valores do potencial volume em m³ de biogás gerado pelo sistema a ser implantado estão apresentados na Tabela 31. Foram realizados testes no biogás gerado nos biodigestores para a verificação dos teores de metano. Com base nisso, pode-se comparar o volume (m³) de biogás gerado com o consumo de gás GLP. Para facilitar os cálculos de comparação financeira, o volume de biogás foi convertido em equivalência a botijões de gás GLP de 13 kg. O fator de conversão utilizado foi de 1 m³ de biogás para cada 0,45 kg de GLP, conforme informado pela tabela de conversão da COMGAS (2003). O uso deste fator de conversão é viável, pois as amostras testadas apresentaram, para a diluição de um kg de

cama para quatro litros de água, um valor médio de 58% de concentração de metano, conforme descrito na Tabela 30.

Tabela 30 - Concentração média de metano nas amostras medidas com analisador de gás

	Amostra A	Amostra B	Amostra C	Amostra D
	(1:3)	(1:4)	(1:5)	(1:6)
Teste 1	54%	55%	57%	58%
Teste 2	55%	57%	58%	59%
Teste 3	56%	58%	60%	57%
Teste 4	55%	57%	59%	60%
Teste 5	57%	57%	57%	58%
Média	55%	57%	58%	58%

Fonte: Próprio autor, 2016

Tabela 31 - Geração de biogás prevista

	Cama de frango	Taxa de	Volume de biogás	Equivalência em botijões
	(KG)	geração	(m³)	de 13 KG GLP
Diário	174,00	0,092	16,01	0,55
Mensal	5.220,00	0,092	480,24	16,62
Anual	156.600,00	0,092	14.407,20	498,71

Fonte: Próprio autor, 2016

Conforme calculado anteriormente, seriam necessários 68 botijões de GLP para atender a demanda energética de gás para aquecimento. Entretanto, de acordo com o cálculo apresentado na Tabela 31, tem-se a estimativa de geração de 499 botijões de gás. Tal relação indica que o volume de biogás gerado será suficiente para atender toda a demanda de energia para aquecimento do sistema, e ainda existe um potencial para geração de energia elétrica com o gás não utilizado para aquecimento.

Após pesquisa no mercado, foi encontrado um gerador (ciclo de Otto) para geração de energia que atende a necessidade do processo. Este gerador é o de menor potência encontrado no mercado, mas, considerando-se a baixa geração de gás do processo, ele atende a demanda e ainda possui folga para atender a futuros aumentos da capacidade de geração de biogás. O gerador de energia elétrica a biogás encontrado foi o modelo B4T - 5000 BIO, fabricante Branco, que possui as seguintes especificações técnicas:

- ✓ Motor 11cv;
- ✓ Potência máxima 4 KVA;
- ✓ Potência nominal 3,6 KVA (2,88 kWh);

- ✓ Rotação 3600 rpm;
- ✓ Tensão de saída 110V/220V (bivolt);
- ✓ Sistema de partida manual / elétrica;
- ✓ Sistema de filtro integrado que permite a conexão direta ao biodigestor;
- ✓ Combustível biogás;
- ✓ Consumo 2,0 m³ de biogás por hora de trabalho.

Devido ao volume de biogás gerado diariamente menos o volume consumido para aquecimento, o referido motor teria de permanecer em funcionamento durante aproximadamente 7 horas diárias. De acordo com as especificações técnicas do fabricante, o motor gera aproximadamente 2,88 kWh. Dessa forma, tem-se, conseqüentemente, uma geração diária média de 20,16 kWh/dia, ou seja, a geração anual de energia com o uso do gerador será de 7.257,6 kWh/ano.

Após cotações feitas em três fornecedores do produto, encontrou-se um custo médio para aquisição de R\$ 6.839,50.

Objetivando uma movimentação do tanque de forma a garantir uma homogeneidade do material durante a operação, é necessária a instalação de bombas de recirculação no biodigestor (CASSINE, 2003). O gás produzido poderá ser utilizado para movimentação da bomba d'água e das bombas de recirculação. Os três equipamentos, somados, consomem 8 kWh (conforme especificação técnica estabelecida para o biodigestor do estudo), e cada equipamento deverá ficar ligado, em média, 1,5 horas por dia. Assim, haverá um consumo diário de 12 kWh/dia.

Tendo em vista as informações acima, é possível perceber que o sistema de geração de biogás tem volume suficiente para atender toda a demanda de aquecimento dos processos, ou seja com a instalação do sistema o gás GLP pode ser totalmente substituído pelo biogás. Ainda é possível produzir energia elétrica para alimentar todo o processo de geração de biogás e a conversão do mesmo em energia elétrica. O sistema gerador de energia elétrica tem capacidade diária de 20,16 kWh/dia e consome 12 kWh/dia, disponibilizando assim 7,84 kWh/dia, que suprirá parte da demanda por energia elétrica do processo.

5.7.2. Escopo de projeto

O biodigestor escolhido para ser implantado nas granjas é do modelo tubular de lona de PVC (modelo canadense), que deverá ser capaz de receber toda a carga orgânica proveniente dos processos de avicultura de corte e de postura.

O dimensionamento do biodigestor deve considerar vários fatores, sendo os principais o Tempo de Retenção Hidráulica (TRH), a quantidade de matéria orgânica e o volume de água inserida no processo. Com base nos testes realizados nas amostras coletadas nas granjas, a relação entre a quantidade de matéria orgânica e de água será o de 1:5, ou seja, para cada quilograma de matéria orgânica, serão inseridos 5 litros de água. O TRH adotado neste processo é de 60 dias. Este tempo leva em consideração o momento da queda de produção de biogás dentro do biodigestor.

Com os critérios principais definidos, é possível encontrar o volume de material a ser inserido dentro do biodigestor utilizando-se a Equação 10.

$$VC = VC_{org.} + V_{\text{água}} \quad (10)$$

Equação 10 - Volume de carga do biodigestor

VC = Volume de carga do biodigestor

$VC_{org.}$ = Volume de carga orgânica

$V_{\text{água}}$ = Volume de água

✓ Inserindo os valores levantados no estudo;

Volume de cama de frango = 66 kg

Cama de frango de aves poedeiras = 108 kg

Volume total de resíduos = **174 Kg**

Volume de água = 174 * 5 litros = 875 litros = **0,875 m³**

VC = **1 m³**

Considerando-se os volumes acima, foi possível estimar, usando a Equação 11, que o biodigestor deve ter a capacidade média de:

$$VB = VC * TRH \quad (10)$$

Equação 11 - Volume do biodigestor

Legenda:

*VB= Volume de carga do biodigestor

*VC= Volume de carga do biodigestor

*THR= Tempo de retenção Hidráulica

$$VB = 1 \text{ m}^3 * 60 \text{ dias} = \mathbf{60 \text{ m}^3}$$

No modelo canadense, a base do biodigestor tem a área menor que a parte superior. Por isso, o biodigestor deverá ser construído a partir de uma escavação no solo com as dimensões expressas no Quadro 1 e nas Figuras 28 e 29.

Quadro 1: Dimensões do biodigestor (modelo canadense)

Volume m ³	Profundidade (metro)	Comprimento 1 (metro)	Largura 1 (metro)	Comprimento2 (metro)	Largura 2 (metro)
60	1,8	12	3,8	10	2,5

Fonte: Próprio autor, 2016

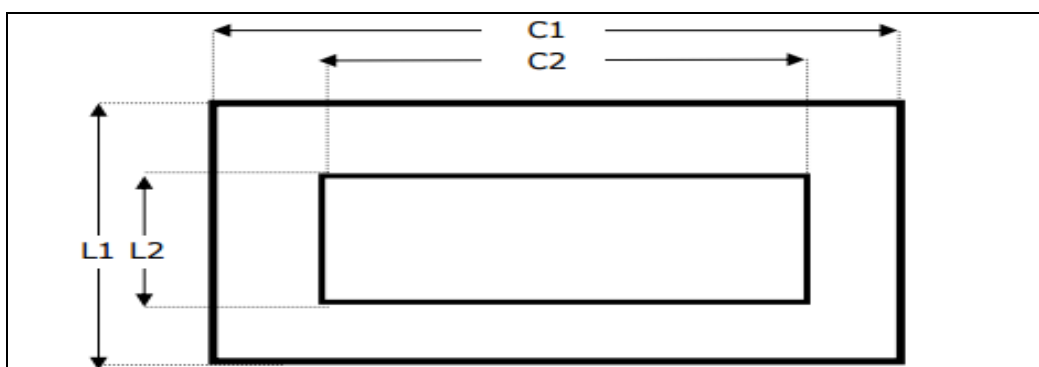


Figura 28 - Croqui da base do biodigestor modelo canadense.

Fonte: Autor, 2016.



Figura 29 – Foto do Biodigestor modelo canadense

Fonte: MRG Equipamientos,(2016)

Com base nas dimensões do pré-projeto, foi realizada uma cotação de preço em três fornecedores e em três empresas de serviços, gerando as Tabelas 32 e 33, nas quais são apresentados os custos médios para instalação do biodigestor.

Tabela 32 - Levantamento do custo médio dos materiais do biodigestor

Material	Unidade	Quantidade	Valor	Total
Manta plástica de PVC flexível de 1 mm	Metros	285	R\$ 18,00	R\$ 5.130,00
Tubulação de PVC 150 mm para esgoto	Tubo 12 m.	12	R\$ 5,80	R\$ 69,60
Tubulação e conexões de PVC de 50 mm para água	Tubo 12 m.	20	R\$ 9,00	R\$ 180,00
Bombas de recirculação de polpa 5cv	Un.	2	1300	R\$ 2.600,00
Sistema de bombeamento de água 1cv	Un.	1	-	R\$ 2.300,00
Caixas de alvenarias para entrada de resíduos e saída de biofertilizante	Un.	2	R\$ 200,00	R\$ 400,00
Total				R\$ 10.679,60

Fonte: Próprio autor, 2016

Tabela 33 - Levantamento do custo médio da mão de obra de instalação do biodigestor

Serviços	Quantidade	Valor	Total
Inst. Manta plástica de PVC flexível de 1 mm	285	R\$ 5,00	R\$ 1.425,00
Marcação e Escavação das valas (hs)	8	R\$ 120,00	R\$ 960,00
Serviço de instalação hidráulica	-	-	R\$ 550,00
Serviços de alvenaria	-	-	R\$ 1200,00
Total			R\$ 4.135,00

Fonte: Próprio autor, 2016

O investimento para construção do biodigestor é de R\$ 14.814,60, tendo o tempo de vida útil, estimado pelos fabricantes, de 10 anos. Acrescentando o investimento do sistema de conversão de biogás em energia elétrica, teremos o investimento total de R\$ 21.654,10. Além dos custos de implantação, é necessário contemplar o custo de manutenção do biodigestor, que, segundo o fornecedor, tem custo médio de R\$ 200,00 anuais - referente a processo de limpeza periódica e manutenção preventiva dos motores e componentes hidráulicos.

5.8. Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Para dimensionar o sistema fotovoltaico, levou-se em conta o consumo de energia elétrica em cada sistema de produção, ou seja, um dimensionamento para o processo de obtenção de frangos de corte e um sistema para o processo de galinhas poedeiras.

Após o dimensionamento do consumo, é necessário levantar o potencial de geração de energia solar na região de implantação das placas solares. Usando como base os dados do atlas Solarimétrico do Brasil (2000), que contém as taxas de irradiação solar em todo o território brasileiro, é possível afirmar que, na Região Centro-Oeste mineira ocorre uma insolação diária média anual de 7 horas, o que proporciona um potencial de geração de energia solar de 16 MJ/ m²/dia, que é o equivalente a 4,45 KW.h/m²/dia.

Outra consideração importante para o dimensionamento é a eficiência do projeto fotovoltaico (inferência padrão), que será considerada de 83% (perdas na geração e transmissão de potência). Esse índice foi definido de acordo com a consulta feita aos fabricantes das placas fotovoltaicas consideradas no estudo.

Para dimensionar os sistemas, o primeiro passo foi realizar o levantamento do consumo de energia elétrica dentro dos processos de frangos de corte e de galinhas poedeiras.

- Sistema de frangos de corte: 508,45 kWh/mês.
- Sistema de galinhas poedeiras: 765,81 kWh/ mês.

Neste levantamento, não foram contemplados os consumos de energia para aquecimentos, pois eles têm como fonte de energia o gás GLP que, no presente estudo, terá como fonte alternativa sustentável o biogás proveniente do processo de biodigestão anaeróbica dos resíduos orgânicos do processo.

Portanto, foi possível calcular o número de placas necessárias obedecendo aos seguintes passos:

1. Calcular o consumo diário/corte:

$$508,45 \text{ kWh}/30 \text{ dias} = \mathbf{16,95 \text{ kWh/dia}}$$

2. Calcular o consumo diário/postura:

$$765,81 \text{ kWh}/30 \text{ dias} = 21.451,15 \text{ Wh/dia} = \mathbf{25,53 \text{ kWh/dia}}$$

3. Calcular o consumo diário/total:

$$\text{Consumo total} = 16,95 \text{ kWh} + 25,53 \text{ kWh} = \mathbf{42,48 \text{ kWh}}$$

O custo de instalação do sistema deverá considerar a geração de energia fotovoltaica para atendimento à instalação. Conforme já detalhado no trabalho, o sistema de geração de biogás irá dispor de 7,84 kWh/dia para o sistema. Como a demanda total de energia elétrica

dos processos é de 42,48 kWh/dia, considerando-se o fornecimento de energia vindo do processo de biodigestão, tem-se, portanto, a necessidade de 34,64 kWh/dia.

1. Calcular a potência de placas necessária =

$$35,48 \cdot 1000 / 4,45 = 7.784,30 \text{ watts}$$

2. Assumindo eficiência de 83%:

$$7.784,30 / 0,83 = 9.368,64 \text{ watts}$$

3. Calcular o número de placas:

$$\text{Qtde. de placas} = \text{Consumo/potência da placa}$$

A potência das placas a serem instaladas é de 255 Watts, logo:

$$\text{Qtde. de placas} = 9.368,64 / 255$$

$$\text{Qtde. de placas} = \mathbf{36,77 \text{ placas} \cong 37 \text{ placas}}$$

Foi possível dimensionar o sistema de geração de energia fotovoltaica tendo como base a instalação de 37 placas de 255 Watts. Assim a geração total de energia elétrica no sistema solar projetado será de 34,85 kWh/dia.

O sistema a ser orçado é do tipo *Grid-tie*. Esta opção se deve à redução dos custos com manutenção, pois os sistemas do tipo *off-grid* necessitam de manutenção mais frequente devido às substituições periódicas das baterias estacionárias. Foi realizado um levantamento dos equipamentos necessários para instalação da estação de geração de energia solar, sendo a descrição e a quantidade dos equipamentos descritas no Quadro 2, os módulos fotovoltaicos com 5 anos de garantia contra defeito de fabricação e 25 anos de garantia que o sistema não irá ter uma geração de energia inferior 83% da capacidade nominal das placas, certificados pelo INMETRO, além de 5 anos de garantia para o inversor.

Quadro 2: lista de materiais para construção de sistema fotovoltaico

Composição do Sistema	Quantidade
Inversor fotovoltaico Fronius Primo 8.2-1 (8.200W)	1
Módulos de silício poli cristalino de 240 Wp	37
Conjunto de estrutura metálica 4,1 m	3
Metros de Cabo SOLAR, 6mm ² , preto	35
Metros de Cabo SOLAR, 6mm ² , vermelho	35
Conectores MC4 macho	2
Conectores MC4 fêmea	2
DPS SPW275-20	3
Quadro elétrico fotovoltaico (Stringbox)	1
Disjuntor string IP65 25A 1000V	2
Estrutura de alumínio para instalação em metros quadrados	75
Espaço de telhado necessário em metros quadrados	75

Fonte: Próprio autor, 2016

Após cotação dos materiais em três fornecedores, foi possível apurar um custo destes materiais no valor médio de R\$ 72.206,00.

Seguindo o mesmo procedimento em relação aos orçamentos para a instalação do sistema, foram cotadas três empresas de instalação de sistemas fotovoltaicos devidamente registradas e com o *Know-how* necessário para instalação do sistema, sendo o custo médio de R\$ 28.650,00.

O custo total de instalação do sistema foi de R\$ 100.856,00. Além das despesas de implantação, é necessário contemplar o custo de manutenção do sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica, que, segundo o fornecedor, tem custo médio de R\$ 450,00 anuais - referente a processo de limpeza periódica das placas e manutenção preventiva dos componentes elétricos.

5.9. Dimensionamento de sistema eólico

Após uma verificação das médias históricas da velocidade do ar no local, foi possível detectar que a velocidade média do ar é de 1,03 m/s. No Gráfico (Figura 30), está expressa a velocidade do vento no período de 2 anos: de maio de 2014 até maio de 2016.

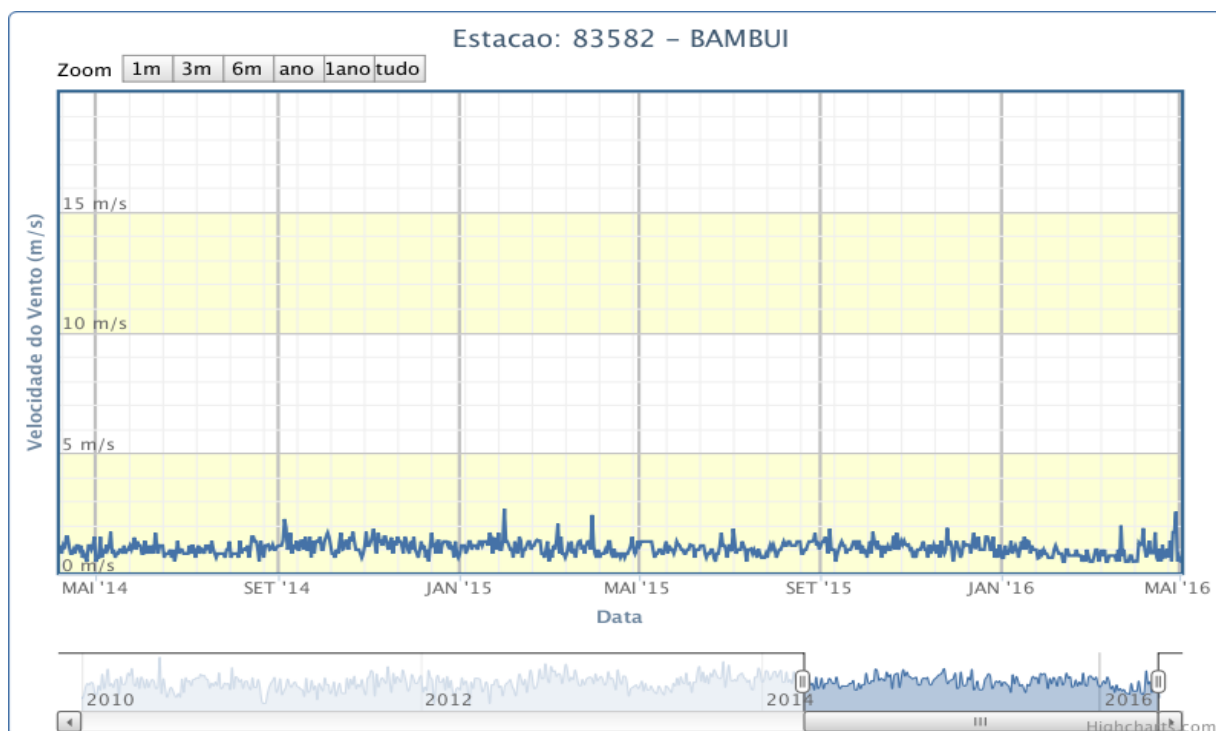


Figura 30 - Gráfico da Velocidade do vento na região das granjas
 Fonte: INMET, 2016

Com base nos dados apresentados pela estação meteorológica, fez-se uma pesquisa relativa aos equipamentos para geração de energia eólica disponíveis no mercado brasileiro. Não foi encontrado nenhum equipamento que possua capacidade de gerar energia elétrica a partir desta velocidade de vento de forma satisfatória. Segundo Grubb e Meyer (1993), uma geração tecnicamente viável de energia eólica é possível apenas para densidade do vento superior ou igual a 500 W/m^2 , à altura de 50 m, o que requer uma velocidade do vento mínima de 7 a 8 m/s. Como o objetivo do trabalho é o uso de tecnologias existentes, com foco em baixo custo, a inserção deste tipo de tecnologia não foi considerada interessante. Então, o uso de aerogeradores para produção de energia foi descartado.

5.10. Análise financeira

O estudo de viabilidade financeira do projeto em questão foi desenvolvido com o objetivo de subsidiar a sua possível implantação. Para proceder à análise do objeto de estudo

foram considerados três cenários distintos com características básicas, que, se não atendidas ou de algum modo corrompidas, podem comprometer os resultados.

Cenário 01 – Substituição de lâmpadas fluorescentes pelas do tipo LED: O primeiro cenário consiste na substituição das lâmpadas fluorescentes, utilizadas atualmente, por lâmpadas do tipo LED. Nesse cenário, o fluxo de caixa é caracterizado pela entrada de capital através da redução dos gastos com energia elétrica. O período de avaliação apurado é de 10 anos, por ser este o tempo de vida útil das lâmpadas do tipo LED, garantia dos respectivos fornecedores.

Cenário 02 – Implantação do sistema de biodigestão com a substituição de lâmpadas fluorescentes pelas do tipo LED: O segundo cenário é formado pela combinação da implantação do sistema de biodigestão em concomitância à substituição das atuais lâmpadas do tipo fluorescente por lâmpadas do tipo LED. Nesse cenário, o fluxo de caixa é caracterizado pela entrada de capital através da eliminação dos gastos com gás GLP e redução dos gastos com energia elétrica e pelas saídas de capital por meio dos gastos com manutenção periódica no sistema de biodigestão. O período de avaliação apurado é de 10 anos, por ser este o tempo de vida útil do sistema de biodigestão e das lâmpadas do tipo LED, garantia dos respectivos fornecedores.

Cenário 03 - implantação do sistema de biodigestão com o uso de energia solar e substituição de lâmpadas do tipo fluorescente por lâmpadas do tipo LED:

O terceiro cenário é composto pela implantação do sistema de biodigestão em concomitância com um sistema de energia solar, contemplando a substituição das atuais lâmpadas do tipo fluorescente pelas do tipo LED. Nesse cenário, o fluxo de caixa é caracterizado pela entrada de capital através da total eliminação dos gastos com gás GLP e energia elétrica e pelas saídas de capital por meio dos gastos com manutenção periódica e reinvestimento em equipamentos e lâmpadas. O período de avaliação apurado é de 30 anos, por ser este o tempo de vida útil do sistema de energia solar, garantido pelo fabricante, contando com reinvestimentos no sistema de biodigestão e troca das lâmpadas a cada década.

A partir dos dados, informações levantadas e das premissas fixadas e com base em métodos usuais de análise e avaliação financeira, os resultados seguintes foram projetados.

5.10.1. *Gastos atuais*

O primeiro passo consistiu no levantamento dos gastos atuais, expressos na Tabela 34. Do consumo de energia elétrica apresentado, R\$ 4.132,80/ano são relativos ao consumo das lâmpadas tipo fluorescente, como pode ser observado na Tabela 24. A substituição das lâmpadas atuais pelas do tipo LED, que possuem um custo de consumo de energia de R\$1.487,81/ano, traria uma economia de R\$ 2.380,32/ano.

Tabela 34 - Despesas atuais dos processos de corte e postura

Item	Consumo	Valor unit. (R\$)	Valor anual (R\$)
Gás GLP botijão 13 kg	55	55,00	R\$ 3.795,00
Energia elétrica	42,5 kWh/dia	0,82	R\$ 12.385,75
Total de despesas			R\$ 16.180,75

Fonte: Próprio autor, 2016.

5.10.2. *Investimento*

De acordo com os cálculos estratificados nas Tabelas 35 e 36, as despesas com implantação e manutenção dos sistemas propostos são: Para o cenário 01: R\$ 1540,00 para substituição das lâmpadas florescentes por LED; Para o cenário 02: R\$ 23.190,10 para a implantação do biodigestor concomitante com a substituição das lâmpadas do tipo fluorescente por lâmpadas do tipo LED, acrescidos de R\$ 200,00/ano em manutenção periódica; e para o Cenário 03: R\$ 124.046,10 para a implantação do biodigestor em concomitância com o sistema de energia solar e a substituição das lâmpadas do tipo fluorescente por lâmpadas do tipo LED, acrescidos de R\$650,00/ano em manutenção periódica.

É importante ressaltar que a análise trata de projetos mutuamente excludentes, o seja um sempre será adotado em detrimento de outro. Nesse caso os fluxos de caixa adotados para análise são incrementais, ou seja, só se considera os valores dos itens que serão de alguma forma alterados ou substituídos, logo, não foram contemplados na análise os gastos referentes a mão de obra , uma vez que, estes são estáveis independente do cenário adotado.

Tabela 35 - Investimentos em equipamentos

Fonte	Custos
Investimento biodigestor	R\$ 21.650,10
Investimento energia solar	R\$ 100.856,00
Investimento lâmpadas de LED	R\$ 1.540,00
Manutenção anual do biodigestor	R\$ 200,00
Manutenção anual sistema energia solar	R\$ 650,00
Reinvestimento para reforma do biodigestor (a cada 10 anos)	R\$ 6.555,00
Reinvestimento para reforma do biodigestor (a cada 15 anos)	R\$ 6.839,50

Fonte: Próprio autor, 2016

Os gastos com manutenção periódica e despesas anuais com gás GLP e energia elétrica foram ajustados respectivamente pelos índices IGP-DI - Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna e IGP-M – Índice Geral de Preços de Mercado - devido à variação de valor da moeda.

O IGP-DI busca refletir as variações mensais de preços, pesquisados do primeiro ao último dia do mês corrente. Em sua formação, são considerados os seguintes índices: O IPA - Índice de Preços por Atacado, IPC - Índice de Preços ao Consumidor e INCC - Índice Nacional do Custo da Construção, com os respectivos pesos: 60%, 30% e 10%. O IGP-DI apura as variações de preços de matérias-primas industriais e agrícolas no atacado e de bens e serviços no consumo final, apenas no mercado nacional (Portal Brasil, 2016).

O IGP-M avalia as mesmas variações de preço que o IGP-DI, a diferença está no período de análise; o IGP-M considera as variações de preços do dia vinte e um do mês anterior ao dia vinte do mês corrente. Atualmente, o IGP-M é o índice utilizado como base para os aumentos da energia elétrica e dos contratos de aluguéis no Brasil (Portal Brasil, 2016).

Para o ajuste, disposto na Tabela 36, foi utilizada a variação média dos índices nos últimos 5 anos, IGP-DI – 1, 415% e IGP-M – 1, 362%, e não somente do ano anterior (2015), por ser considerado pelo IBE – Instituto Brasileiro de Economia (2016) - um ano atípico, com a maior variação dos respectivos índices nos últimos 11 anos.

Tabela 36 - Despesas anuais ajustadas

Ano	Manutenção biodigestor	Manutenção Energia Solar + biodigestor	Despesas anuais (gás)	Despesas anuais (gás e energia elétrica)	Economia de Energia elétrica (substituição de lâmpadas)
1	R\$ 200,00	R\$ 650,00	R\$ 3.795,67	R\$ 16.180,75	R\$ 2.644,99
2	R\$ 202,83	R\$ 659,20	R\$ 3.847,39	R\$ 16.401,21	R\$ 2.681,03
3	R\$ 205,66	R\$ 668,40	R\$ 3.899,10	R\$ 16.621,68	R\$ 2.717,07
4	R\$ 208,49	R\$ 677,59	R\$ 3.950,82	R\$ 16.842,14	R\$ 2.753,10
5	R\$ 211,32	R\$ 686,79	R\$ 4.002,53	R\$ 17.062,60	R\$ 2.789,14
6	R\$ 214,15	R\$ 695,99	R\$ 4.054,25	R\$ 17.283,06	R\$ 2.825,18
7	R\$ 216,98	R\$ 705,19	R\$ 4.105,97	R\$ 17.503,53	R\$ 2.861,22
8	R\$ 219,81	R\$ 714,38	R\$ 4.157,68	R\$ 17.723,99	R\$ 2.897,26
9	R\$ 222,64	R\$ 723,58	R\$ 4.209,40	R\$ 17.944,45	R\$ 2.933,29
10	R\$ 225,47	R\$ 732,78	R\$ 4.261,11	R\$ 18.164,91	R\$ 2.969,33
11	R\$ 228,30	R\$ 741,98	R\$ 4.312,83	R\$ 18.385,38	R\$ 3.005,37
12	R\$ 231,13	R\$ 751,17	R\$ 4.364,55	R\$ 18.605,84	R\$ 3.041,41
13	R\$ 233,96	R\$ 760,37	R\$ 4.416,26	R\$ 18.826,30	R\$ 3.077,45
14	R\$ 236,79	R\$ 769,57	R\$ 4.467,98	R\$ 19.046,77	R\$ 3.113,48
15	R\$ 239,62	R\$ 778,77	R\$ 4.519,69	R\$ 19.267,23	R\$ 3.149,52
16	R\$ 242,45	R\$ 787,96	R\$ 4.571,41	R\$ 19.487,69	R\$ 3.185,56
17	R\$ 245,28	R\$ 797,16	R\$ 4.623,13	R\$ 19.708,15	R\$ 3.221,60
18	R\$ 248,11	R\$ 806,36	R\$ 4.674,84	R\$ 19.928,62	R\$ 3.257,64
19	R\$ 250,94	R\$ 815,56	R\$ 4.726,56	R\$ 20.149,08	R\$ 3.293,67
20	R\$ 253,77	R\$ 824,75	R\$ 4.778,27	R\$ 20.369,54	R\$ 3.329,71
21	R\$ 256,60	R\$ 833,95	R\$ 4.829,99	R\$ 20.590,00	R\$ 3.365,75
22	R\$ 259,43	R\$ 843,15	R\$ 4.881,71	R\$ 20.810,47	R\$ 3.401,79
23	R\$ 262,26	R\$ 852,35	R\$ 4.933,42	R\$ 21.030,93	R\$ 3.437,83
24	R\$ 265,09	R\$ 861,54	R\$ 4.985,14	R\$ 21.251,39	R\$ 3.473,86
25	R\$ 267,92	R\$ 870,74	R\$ 5.036,85	R\$ 21.471,86	R\$ 3.509,90
26	R\$ 270,75	R\$ 879,94	R\$ 5.088,57	R\$ 21.692,32	R\$ 3.545,94
27	R\$ 273,58	R\$ 889,14	R\$ 5.140,29	R\$ 21.912,78	R\$ 3.581,98
28	R\$ 276,41	R\$ 898,33	R\$ 5.192,00	R\$ 22.133,24	R\$ 3.618,02
29	R\$ 279,24	R\$ 907,53	R\$ 5.243,72	R\$ 22.353,71	R\$ 3.654,05
30	R\$ 282,07	R\$ 916,73	R\$ 5.295,43	R\$ 22.574,17	R\$ 3.690,09

Fonte: Próprio autor, 2016

5.10.3. Taxa de desconto

Para a projeção do retorno do investimento e avaliação da viabilidade financeira com base na TIR, é primordial determinar a taxa de desconto a partir da qual se procede a descapitalização dos valores projetados, a fim de garantir que os resultados não sejam corrompidos pela variação temporal do dinheiro. Entre as três taxas que podem ser utilizadas: TMA, custo de oportunidade e custo de capital, fez-se a opção pelo custo de capital, que trata da remuneração sobre o capital investido, ou o custo do dinheiro aportado

em determinado investimento. Essa taxa é considerada ideal para situações onde se trata de capital próprio, abordando, assim, o que se deixa de ganhar no mercado financeiro. Por se tratar de recursos internos, tomou-se como base a taxa de poupança, que, segundo o Portal Brasil (2016), teve um rendimento médio no ano de 2015 de 8,07%.

5.10.4. Fluxo de caixa projetado

Os fluxos de caixa foram projetados a partir dos valores de investimentos e gastos indicados na Tabela 33. Os gastos com gás GLP e energia elétrica, que anteriormente caracterizavam saída de capital, agora passam a compor as entradas de capital. Essa inversão acontece à medida que a substituição das lâmpadas, a implantação do sistema de biodigestão e/ou energia solar elimina ou reduz os gastos com energia elétrica e gás GLP, gerando uma economia no valor das despesas anteriores.

Cenário 01

No fluxo de caixa projetado, conforme Tabela 37, compõem as saídas de capital: os gastos com substituição das lâmpadas no ano zero. Compõem as entradas de capital a economia de energia elétrica gerada pela substituição das lâmpadas, acumulados pelo período de 10 anos, corrigidos pelo índice IGP-M.

Tabela 37 - Fluxo de caixa projetado cenário 01

Ano	Saída de capital (investimento)	Entrada de capital (economia Gerada)	Fluxo de Caixa	Acumulado
0	-R\$ 1.540,00		-R\$ 1.540,00	-R\$ 1.540,00
1		R\$ 2.644,99	R\$ 2.644,99	R\$ 1.104,99
2		R\$ 2.681,03	R\$ 2.681,03	R\$ 3.786,02
3		R\$ 2.717,07	R\$ 2.717,07	R\$ 6.503,08
4		R\$ 2.753,10	R\$ 2.753,10	R\$ 9.256,19
5		R\$ 2.789,14	R\$ 2.789,14	R\$ 12.045,33
6		R\$ 2.825,18	R\$ 2.825,18	R\$ 14.870,51
7		R\$ 2.861,22	R\$ 2.861,22	R\$ 17.731,73
8		R\$ 2.897,26	R\$ 2.897,26	R\$ 20.628,98
9		R\$ 2.933,29	R\$ 2.933,29	R\$ 32.046,35
10		R\$ 2.969,33	R\$ 2.969,33	R\$ 35.015,68

Fonte: Próprio autor, 2016

Cenário 02

No fluxo de caixa projetado, conforme Tabela 38, compõem as saídas de capital: os gastos com implantação do sistema de biodigestão e substituição das lâmpadas no ano zero e

os valores de manutenção periódica anual, acumulados no período de 10 anos, ajustados pelo índice IGP-DI. Compõem as entradas de capital: os gastos atuais com compra de gás GLP e a economia de energia elétrica gerada pela substituição das lâmpadas, acumulados pelo período de 10 anos, corrigidos pelo índice IGP-M.

Tabela 38- Fluxo de caixa projetado cenário 01

Ano	Saída de capital (investimento e manutenção)		Entrada de capital (economia gerada)		Fluxo de Caixa		Acumulado	
0	-R\$	23.190,10			-R\$	23.190,10	-R\$	23.190,10
1	-R\$	200,00	R\$	6.440,66	R\$	6.240,66	-R\$	16.949,44
2	-R\$	202,83	R\$	6.528,41	R\$	6.325,58	-R\$	10.623,86
3	-R\$	205,66	R\$	6.616,17	R\$	6.410,51	-R\$	4.213,35
4	-R\$	208,49	R\$	6.703,92	R\$	6.495,43	R\$	2.282,08
5	-R\$	211,32	R\$	6.791,68	R\$	6.580,36	R\$	8.862,44
6	-R\$	214,15	R\$	6.879,43	R\$	6.665,28	R\$	15.527,72
7	-R\$	216,98	R\$	6.967,18	R\$	6.750,20	R\$	22.277,92
8	-R\$	219,81	R\$	7.054,94	R\$	6.835,13	R\$	29.113,05
9	-R\$	222,64	R\$	7.142,69	R\$	6.920,05	R\$	36.033,10
10	-R\$	225,47	R\$	7.230,45	R\$	7.004,98	R\$	43.038,08

Fonte: Próprio autor, 2016

Cenário 03

No fluxo de caixa projetado, conforme Tabela 39, compõem as saídas de capital: o somatório dos gastos com implantação do sistema de biodigestão, a implantação do sistema de energia solar e a substituição das lâmpadas no ano zero, os valores de manutenção periódica anual, acumulados no período de 30 anos, ajustados pelo índice IGP-DI e pelos gastos com reinvestimento no sistema de biodigestão a cada período de dez e quinze anos e substituição de lâmpadas uma vez a cada período de 10 anos. Compõem as entradas de capital: os gastos atuais com compra de gás GLP e energia elétrica, acumulados pelo período de 30 anos, corrigidos pelo índice IGP-M.

Tabela 39 - Fluxo de caixa projetado cenário 02

Ano	Saída de capital (investimento e manutenção)	Entrada de capital (economia gerada)	Fluxo de Caixa	Acumulado
0	-R\$ 124.046,10		-R\$ 124.046,10	-R\$ 124.046,10
1	-R\$ 650,00	R\$ 16.180,75	R\$ 15.530,75	-R\$ 108.515,35
2	-R\$ 659,20	R\$ 16.401,21	R\$ 15.742,02	-R\$ 92.773,33
3	-R\$ 668,40	R\$ 16.621,68	R\$ 15.953,28	-R\$ 76.820,05
4	-R\$ 677,59	R\$ 16.842,14	R\$ 16.164,55	-R\$ 60.655,51
5	-R\$ 686,79	R\$ 17.062,60	R\$ 16.375,81	-R\$ 44.279,70
6	-R\$ 695,99	R\$ 17.283,06	R\$ 16.587,08	-R\$ 27.692,62
7	-R\$ 705,19	R\$ 17.503,53	R\$ 16.798,34	-R\$ 10.894,28
8	-R\$ 714,38	R\$ 17.723,99	R\$ 17.009,61	R\$ 6.115,33
9	-R\$ 723,58	R\$ 17.944,45	R\$ 17.220,87	R\$ 23.336,20
10	-R\$ 8.827,78	R\$ 18.164,91	R\$ 9.337,14	R\$ 32.673,33
11	-R\$ 741,98	R\$ 18.385,38	R\$ 17.643,40	R\$ 50.316,74
12	-R\$ 751,17	R\$ 18.605,84	R\$ 17.854,67	R\$ 68.171,40
13	-R\$ 760,37	R\$ 18.826,30	R\$ 18.065,93	R\$ 86.237,34
14	-R\$ 769,57	R\$ 19.046,77	R\$ 18.277,20	R\$ 104.514,53
15	-R\$ 7.618,27	R\$ 19.267,23	R\$ 11.648,96	R\$ 116.163,50
16	-R\$ 787,96	R\$ 19.487,69	R\$ 18.699,73	R\$ 134.863,23
17	-R\$ 797,16	R\$ 19.708,15	R\$ 18.910,99	R\$ 153.774,22
18	-R\$ 806,36	R\$ 19.928,62	R\$ 19.122,26	R\$ 172.896,48
19	-R\$ 815,56	R\$ 20.149,08	R\$ 19.333,52	R\$ 192.230,00
20	-R\$ 8.919,75	R\$ 20.369,54	R\$ 11.449,79	R\$ 203.679,79
21	-R\$ 833,95	R\$ 20.590,00	R\$ 19.756,05	R\$ 223.435,85
22	-R\$ 843,15	R\$ 20.810,47	R\$ 19.967,32	R\$ 243.403,17
23	-R\$ 852,35	R\$ 21.030,93	R\$ 20.178,58	R\$ 263.581,75
24	-R\$ 861,54	R\$ 21.251,39	R\$ 20.389,85	R\$ 283.971,60
25	-R\$ 870,74	R\$ 21.471,86	R\$ 20.601,12	R\$ 304.572,72
26	-R\$ 879,94	R\$ 21.692,32	R\$ 20.812,38	R\$ 325.385,10
27	-R\$ 889,14	R\$ 21.912,78	R\$ 21.023,65	R\$ 346.408,74
28	-R\$ 898,33	R\$ 22.133,24	R\$ 21.234,91	R\$ 367.643,65
29	-R\$ 907,53	R\$ 22.353,71	R\$ 21.446,18	R\$ 389.089,83
30	-R\$ 916,73	R\$ 22.574,17	R\$ 21.657,44	R\$ 410.747,27

Fonte: Próprio autor, 2016

5.10.5. Pay back

Para o cálculo do período de *pay back*, foi feita a descapitalização do fluxo de caixa através do VPL à taxa de desconto, predeterminada no item 5.10.3, de 8,07%, possibilitando a apuração, no momento presente, do retorno previsto para o investimento.

Cenário 01

O investimento na substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED, tem o seu *breakeven* após 7 meses aproximadamente, conforme a Tabela 40.

Tabela 40 - Apuração de Pay back cenário 01

Ano	Fluxo de Caixa	Acumulado	VPL	VPL (acumulado)
0	-R\$ 1.540,00	-R\$ 1.540,00		-R\$ 1.540,00
1	R\$ 2.644,99	R\$ 1.104,99	R\$ 2.447,48	R\$ 907,48
2	R\$ 2.681,03	R\$ 3.786,02	R\$ 2.295,57	R\$ 3.203,05
3	R\$ 2.717,07	R\$ 6.503,08	R\$ 2.152,71	R\$ 5.355,76
4	R\$ 2.753,10	R\$ 9.256,19	R\$ 2.018,38	R\$ 7.374,13
5	R\$ 2.789,14	R\$ 12.045,33	R\$ 1.892,10	R\$ 9.266,24
6	R\$ 2.825,18	R\$ 14.870,51	R\$ 1.773,43	R\$ 11.039,67
7	R\$ 2.861,22	R\$ 17.731,73	R\$ 1.661,94	R\$ 12.701,61
8	R\$ 2.897,26	R\$ 20.628,98	R\$ 1.557,20	R\$ 14.258,81
9	R\$ 2.933,29	R\$ 23.562,28	R\$ 1.458,85	R\$ 15.717,66
10	R\$ 2.969,33	R\$ 26.531,61	R\$ 1.366,49	R\$ 17.084,15

Fonte: Próprio autor, 2016

Cenário 02

O investimento no sistema de biodigestão, com a substituição de lâmpadas, tem o seu *breakeven* após 4 anos e 6 meses aproximadamente, conforme a Tabela 41.

Tabela 41 - Apuração de Pay back cenário 02

Ano	Fluxo de Caixa	Acumulado	VPL	VPL (acumulado)
0	-R\$ 23.190,10	-R\$ 23.190,10		-R\$ 23.190,10
1	R\$ 6.240,66	-R\$ 16.949,44	R\$ 5.774,65	-R\$ 17.415,45
2	R\$ 6.325,58	-R\$ 10.623,86	R\$ 5.416,15	-R\$ 11.999,31
3	R\$ 6.410,51	-R\$ 4.213,35	R\$ 5.078,99	-R\$ 6.920,32
4	R\$ 6.495,43	R\$ 2.282,08	R\$ 4.761,98	-R\$ 2.158,34
5	R\$ 6.580,36	R\$ 8.862,44	R\$ 4.463,99	R\$ 2.305,65
6	R\$ 6.665,28	R\$ 15.527,72	R\$ 4.183,96	R\$ 6.489,61
7	R\$ 6.750,20	R\$ 22.277,92	R\$ 3.920,86	R\$ 10.410,47
8	R\$ 6.835,13	R\$ 29.113,05	R\$ 3.673,71	R\$ 14.084,18
9	R\$ 6.920,05	R\$ 36.033,10	R\$ 3.441,62	R\$ 17.525,80
10	R\$ 7.004,98	R\$ 43.038,08	R\$ 3.223,70	R\$ 20.749,50

Fonte: Próprio autor, 2016

Cenário 03

O investimento nos sistemas de biodigestão e energia solar, com a substituição de lâmpadas, tem o seu *breakeven* após 12 anos aproximadamente, conforme Tabela 42.

Tabela 42 - Apuração de *Pay back* cenário 03

Ano	Fluxo de Caixa	Acumulado	VPL	VPL (acumulado)
0	-R\$ 124.046,10	-R\$ 124.046,10		-R\$ 124.046,10
1	R\$ 15.530,75	-R\$ 108.515,35	R\$ 14.371,01	-R\$ 109.675,09
2	R\$ 15.742,02	-R\$ 92.773,33	R\$ 13.478,76	-R\$ 96.196,33
3	R\$ 15.953,28	-R\$ 76.820,05	R\$ 12.639,64	-R\$ 83.556,69
4	R\$ 16.164,55	-R\$ 60.655,51	R\$ 11.850,67	-R\$ 71.706,02
5	R\$ 16.375,81	-R\$ 44.279,70	R\$ 11.109,05	-R\$ 60.596,97
6	R\$ 16.587,08	-R\$ 27.692,62	R\$ 10.412,11	-R\$ 50.184,85
7	R\$ 16.798,34	-R\$ 10.894,28	R\$ 9.757,32	-R\$ 40.427,54
8	R\$ 17.009,61	R\$ 6.115,33	R\$ 9.142,25	-R\$ 31.285,29
9	R\$ 17.220,87	R\$ 23.336,20	R\$ 8.564,63	-R\$ 22.720,66
10	R\$ 9.337,14	R\$ 32.673,33	R\$ 4.296,97	-R\$ 18.423,69
11	R\$ 17.643,40	R\$ 50.316,74	R\$ 7.513,21	-R\$ 10.910,48
12	R\$ 17.854,67	R\$ 68.171,40	R\$ 7.035,42	-R\$ 3.875,06
13	R\$ 18.065,93	R\$ 86.237,34	R\$ 6.587,09	R\$ 2.712,03
14	R\$ 18.277,20	R\$ 104.514,53	R\$ 6.166,48	R\$ 8.878,51
15	R\$ 11.648,96	R\$ 116.163,50	R\$ 3.636,72	R\$ 12.515,23
16	R\$ 18.699,73	R\$ 134.863,23	R\$ 5.401,98	R\$ 17.917,21
17	R\$ 18.910,99	R\$ 153.774,22	R\$ 5.055,07	R\$ 22.972,28
18	R\$ 19.122,26	R\$ 172.896,48	R\$ 4.729,84	R\$ 27.702,12
19	R\$ 19.333,52	R\$ 192.230,00	R\$ 4.425,00	R\$ 32.127,12
20	R\$ 11.449,79	R\$ 203.679,79	R\$ 2.424,90	R\$ 34.552,02
21	R\$ 19.756,05	R\$ 223.435,85	R\$ 3.871,61	R\$ 38.423,63
22	R\$ 19.967,32	R\$ 243.403,17	R\$ 3.620,82	R\$ 42.044,45
23	R\$ 20.178,58	R\$ 263.581,75	R\$ 3.385,89	R\$ 45.430,33
24	R\$ 20.389,85	R\$ 283.971,60	R\$ 3.165,85	R\$ 48.596,19
25	R\$ 20.601,12	R\$ 304.572,72	R\$ 2.959,80	R\$ 51.555,98
26	R\$ 20.812,38	R\$ 325.385,10	R\$ 2.766,86	R\$ 54.322,85
27	R\$ 21.023,65	R\$ 346.408,74	R\$ 2.586,24	R\$ 56.909,09
28	R\$ 21.234,91	R\$ 367.643,65	R\$ 2.417,16	R\$ 59.326,25
29	R\$ 21.446,18	R\$ 389.089,83	R\$ 2.258,92	R\$ 61.585,17
30	R\$ 21.657,44	R\$ 410.747,27	R\$ 2.110,83	R\$ 63.699,09

Fonte: Próprio autor, 2016

5.10.6. Valor Presente Líquido – VPL

Por meio do cálculo do VPL, foi possível apurar, em valores atuais, o ganho financeiro previsto com a implantação do projeto nos três cenários propostos. Para a apuração, foi feita a descapitalização do fluxo de caixa à taxa de desconto predeterminada de 8,07%, e o resultado foi subtraído pelo investimento inicial.

Cenário 01

Após a recuperação do investimento e pagamento dos custos, o projeto oferece um ganho financeiro de R\$ 17.084,15, de acordo com a Tabela 43.

Tabela 43 - Apuração de VPL Cenário 1

Custo de Capital (i)	8,07%
Período (n)	Fluxo de Caixa
0	-R\$ 1.540,00
1	R\$ 2.644,99
2	R\$ 2.681,03
3	R\$ 2.717,07
4	R\$ 2.753,10
5	R\$ 2.789,14
6	R\$ 2.825,18
7	R\$ 2.861,22
8	R\$ 2.897,26
9	R\$ 2.933,29
10	R\$ 2.969,33
VPL	R\$ 17.084,15

Fonte: Próprio autor, 2016

Cenário 02

Após a recuperação do investimento e pagamento dos custos, o projeto oferece um ganho financeiro de R\$ 22.160,48, de acordo com a Tabela 44.

Tabela 44 - Apuração de VPL Cenário 2

Custo de Capital (i)	8,07%
Período (n)	Fluxo de Caixa
0	-R\$ 23.190,10
1	R\$ 6.240,66
2	R\$ 6.325,58
3	R\$ 6.410,51
4	R\$ 6.495,43
5	R\$ 6.580,36
6	R\$ 6.665,28
7	R\$ 6.750,20
8	R\$ 6.835,13
9	R\$ 6.920,05
10	R\$ 7.004,98
VPL	R\$ 20.749,50

Fonte: Próprio autor, 2016

Cenário 03

Após a recuperação do investimento e pagamento dos custos, o projeto oferece um ganho financeiro de R\$ 63.696,00, conforme a Tabela 45.

Tabela 45 - Apuração de VPL Cenário 3

Custo de Capital (i)	8,07%
Período (n)	Fluxo de Caixa
0	-R\$ 124.046,10
1	R\$ 15.530,75
2	R\$ 15.742,02
3	R\$ 15.953,28
4	R\$ 16.164,55
5	R\$ 16.375,81
6	R\$ 16.587,08
7	R\$ 16.798,34
8	R\$ 17.009,61
9	R\$ 17.220,87
10	R\$ 9.337,14
11	R\$ 17.643,40
12	R\$ 17.854,67
13	R\$ 18.065,93
14	R\$ 18.277,20
15	R\$ 11.648,96
16	R\$ 18.699,73
17	R\$ 18.910,99
18	R\$ 19.122,26
19	R\$ 19.333,52
20	R\$ 11.449,79
21	R\$ 19.967,32
22	R\$ 19.756,05
23	R\$ 20.178,58
24	R\$ 20.389,85
25	R\$ 20.601,12
26	R\$ 20.812,38
27	R\$ 21.023,65
28	R\$ 21.234,91
29	R\$ 21.446,18
30	R\$ 21.657,44
VPL	R\$ 63.699,09

Fonte: Próprio autor, 2016

5.10.7. Taxa Interna de Retorno – TIR

Através do cálculo TIR, têm-se condições de projetar a taxa de retorno obtida pelo investimento se e quando as previsões de fluxo de caixa forem alcançadas. Para apuração da taxa, utilizou-se uma planilha de Excel.

Cenário 01

O investimento considerando o cenário 01 apresenta uma rentabilidade máxima projetada de 173% a.a, como mostrado na Tabela 46.

Tabela 46 - Tabela 45 - Cálculo da TIR - Taxa Interna de Retorno (Cenário 01)

Investimento	-R\$ 1.540,00
Ano 01	R\$ 2.644,99
Ano 02	R\$ 2.681,03
Ano 03	R\$ 2.717,07
Ano 04	R\$ 2.753,10
Ano 05	R\$ 2.789,14
Ano 06	R\$ 2.825,18
Ano 07	R\$ 2.861,22
Ano 08	R\$ 2.897,26
Ano 09	R\$ 2.933,29
Ano 10	R\$ 2.969,33
TIR	173%

Fonte: Próprio autor, 2016

Cenário 02

O investimento considerando o cenário 02 apresenta uma rentabilidade máxima projetada de 23% a.a, como mostrado na Tabela 47.

Tabela 47 - Cálculo da TIR - Taxa Interna de Retorno (Cenário 2)

Investimento	-R\$ 23.190,10
Ano 01	R\$ 6.240,66
Ano 02	R\$ 6.325,58
Ano 03	R\$ 6.410,51
Ano 04	R\$ 6.495,43
Ano 05	R\$ 6.580,36
Ano 06	R\$ 6.665,28
Ano 07	R\$ 6.750,20
Ano 08	R\$ 6.835,13
Ano 09	R\$ 2.933,29
Ano 10	R\$ 2.969,33
TIR	23%

Fonte: Próprio autor, 2016

Cenário 03

O investimento considerando o cenário 03 mostra uma rentabilidade máxima projetada de 13% a.a, conforme apresentado na Tabela 48.

Tabela 48 - Cálculo da TIR - Taxa Interna de Retorno (Cenário 3)

Investimento	-R\$	124.046,10
Ano 01	R\$	15.530,75
Ano 02	R\$	15.742,02
Ano 03	R\$	15.953,28
Ano 04	R\$	16.164,55
Ano 05	R\$	16.375,81
Ano 06	R\$	16.587,08
Ano 07	R\$	16.798,34
Ano 08	R\$	17.009,61
Ano 09	R\$	17.220,87
Ano 10	R\$	9.337,14
Ano 11	R\$	17.643,40
Ano 12	R\$	17.854,67
Ano 13	R\$	18.065,93
Ano 14	R\$	18.277,20
Ano 15	R\$	11.648,96
Ano 16	R\$	18.699,73
Ano 17	R\$	18.910,99
Ano 18	R\$	19.122,26
Ano 19	R\$	19.333,52
Ano 20	R\$	11.449,79
Ano 21	R\$	19.967,32
Ano 22	R\$	19.756,05
Ano 23	R\$	20.178,58
Ano 24	R\$	20.389,85
Ano 25	R\$	20.601,12
Ano 26	R\$	20.812,38
Ano 27	R\$	21.023,65
Ano 28	R\$	21.234,91
Ano 29	R\$	21.446,18
Ano 30	R\$	21.657,44
TIR		13%

Fonte: Próprio autor, 2016

5.10.8. Índice Benefício Custo (IBC)

Através do IBC, é possível avaliar a representatividade do fluxo de caixa projetado em relação ao investimento inicial, ou seja, quanto o fluxo de caixa previsto, representa em

relação ao valor investido, em percentagem ou moeda. Para isso, divide-se o somatório do fluxo de caixa descapitalizado pelo investimento inicial.

Para a apuração do IBC considerou-se duas correntes de pensamento, uma que toma como base o fluxo de caixa nominal, dessa forma desconsidera o valor do dinheiro no tempo. E outra que toma como base o fluxo de caixa descontado, levando em consideração o valor do dinheiro no tempo.

Cenário 01

A Tabela 49 apresenta a apuração do IBC no cenário 01 a partir do fluxo de caixa nominal, onde, para cada R\$ 1,00 investido, o investidor terá R\$ 22,737 de retorno, ou seja, um rendimento em torno de 2.200,74 % do valor inicial.

Tabela 49 - Apuração do IBC Cenário 01 - valor nominal

IBC (Cenário 1)	
Fluxo de caixa	R\$ 35.015,68
Investimento	R\$ 1.540,00
IBC	R\$ 22,737

Fonte: Próprio autor, 2016

A Tabela 50 apresenta a apuração do IBC no cenário 01 a partir do fluxo de caixa descontado, onde, para cada R\$ 1,00 investido, o investidor terá R\$ 11,094 de retorno, ou seja, um rendimento em torno de 1.100,10 % do valor inicial.

Tabela 50 - Apuração do IBC Cenário 01 - valor descontado

IBC (Cenário 1)	
Fluxo de caixa	R\$ 17.084,15
Investimento	R\$ 1.540,00
IBC	R\$ 11,094

Fonte: Próprio autor, 2016

Cenário 02

A Tabela 51 apresenta a apuração do IBC no cenário 02 a partir do fluxo de caixa nominal, onde, para cada R\$ 1,00 investido, o investidor terá R\$ 1,856 de retorno, ou seja, um rendimento em torno de 185,6% do valor inicial.

Tabela 51 - Apuração do IBC Cenário 02 - valor nominal

IBC (Cenário 2)	
Fluxo de caixa	R\$ 43.038,08
Investimento	R\$ 23.190,10
IBC	R\$ 1,856

Fonte: Próprio autor, 2016

A Tabela 52 apresenta a apuração do IBC no cenário 02 a partir do fluxo de caixa descontado, onde, para cada R\$ 1,00 investido, o investidor terá R\$ 0,956 de retorno, ou seja, um rendimento em torno de 95,6% do valor inicial.

Tabela 52- Apuração do IBC Cenário 02 - valor descontado

IBC (Cenário 2)	
Fluxo de caixa	R\$ 20.749,50
Investimento	R\$ 23.190,10
IBC	R\$ 0,895

Fonte: Próprio autor, 2016

Cenário 03

A Tabela 53 apresenta a apuração do IBC no cenário 03 a partir do fluxo de caixa nominal, onde, para cada R\$ 1,00 investido, o investidor terá R\$ 3,311 de retorno, ou seja, um rendimento em torno de 331,1% do valor inicial.

Tabela 53 - Apuração do IBC Cenário 03 - valor nominal

IBC (Cenário 3)	
Fluxo de caixa	R\$ 410.747,27
Investimento	R\$ 124.046,10
IBC	R\$ 3,311

Fonte: Próprio autor, 2016

A Tabela 54 apresenta a apuração do IBC no cenário 03 a partir do fluxo de caixa descontado, onde, para cada R\$ 1,00 investido, o investidor terá R\$ 0,514 de retorno, ou seja, um rendimento em torno de 51,4% do valor inicial.

Tabela 54 - Apuração do IBC Cenário 03 - valor descontado

IBC (Cenário 3)	
Fluxo de caixa	R\$ 63.699,09
Investimento	R\$ 124.046,10
IBC	R\$ 0,514

Fonte: Próprio autor, 2016

Com a implantação dos sistemas de energia renovável nas unidades de produção de frango de corte e ovos, será possível manter a produção dentro dos patamares já estabelecidos pela instituição, sem consumir energia da concessionária para este fim. O uso de fontes de energias alternativas beneficiará o processo em dois aspectos: financeiro e ambiental.

6. ASPECTO FINANCEIRO

6.1.2. Avaliação pelo método *payback*

Por se tratar de um projeto desenvolvido em uma instituição de ensino pública, onde o risco é considerado baixo e o objetivo principal não é somente lucro, cujos objetivos principais são o ensino, a realização de pesquisas para desenvolvimento de tecnologias e as atividades de extensão para levar este conhecimento à comunidade, o prazo máximo de retorno aceitável foi considerado o tempo de vida útil de cada sistema. Vale lembrar que esse prazo não é calculado, mas determinado por cada empresa com base em fatores geralmente subjetivos e imensuráveis, como percepção de risco e tipo de projeto.

No cenário 01, o prazo máximo de retorno determinado aceitável é de 10 anos. Tomou-se como base os seguintes dados:

- Substituição das lâmpadas - vida útil de 10 anos.

O projeto foi considerado viável para o cenário 01, do ponto de vista *payback*, por ser o prazo de retorno apurado de aproximadamente 7 meses, inferior ao prazo máximo aceitável.

No cenário 02, o prazo máximo de retorno determinado aceitável também é de 10 anos. Tomou-se como base os seguintes dados:

- Implantação do biodigestor- vida útil de 10 anos.
- Substituição das lâmpadas - vida útil de 10 anos.

O projeto foi considerado viável para o cenário 02, do ponto de vista *payback*, por ser o prazo de retorno apurado de aproximadamente 4 anos e 6 meses, inferior ao prazo máximo aceitável.

No cenário 03, o prazo máximo de retorno determinado aceitável é de 30 anos, com base nos seguintes dados:

- Implantação do biodigestor- vida útil de 10 anos, com reinvestimento nos anos 10, 15 e 20.
- Substituição das lâmpadas - vida útil de 10 anos, com reinvestimento nos anos 10 e 20.
- Implantação do sistema de energia solar – 30 anos.

Considerou-se o projeto viável para o cenário 03, do ponto de vista *payback*, por ser o prazo de retorno apurado de aproximadamente 12 anos, inferior ao prazo máximo aceitável.

É importante ressaltar que, nos três cenários considerados, o fluxo de caixa após o *breakeven* manteve-se positivo e constante, o que reforça a viabilidade do projeto.

6.1.2. Avaliação pelo método VPL

Por se tratar de um projeto sem fins lucrativos, dois possíveis resultados pelo ponto de vista do VPL garantem a viabilidade:

$$\text{VPL} = 0$$

$$\text{VPL} > 0$$

Dessa forma, o projeto é considerado viável nos três cenários propostos, sendo o $\text{VPL} > 0$ nas três situações. No cenário 01, o VPL apurado é de R\$ 17.084,15. No cenário 02, o VPL apurado é de R\$ 20.749,50, e, no cenário 03, o VPL apurado é de R\$ 63.699,09.

6.1.3. Avaliação pela TIR

Na análise por meio da TIR, houve a comparação da taxa apurada para os respectivos investimentos em cada cenário em relação à taxa de desconto predeterminada para o projeto, de 8,07%.

Nesse caso, não se avalia somente a viabilidade do projeto, por ser uma taxa superior ou inferior a outra, mas também o risco do investimento, determinado pela proximidade entre as taxas - quanto mais próxima a TIR estiver da taxa de desconto, maior o risco do investimento.

No cenário 01, tem-se a TIR de 173% para a taxa de desconto de 8,07%.

No cenário 02, tem-se a TIR de 23% para a taxa de desconto de 8,07%.

No cenário 03, tem-se a TIR de 13% para a taxa de desconto de 8,07%.

Dessa forma, o projeto é viável para investimento nos três cenários, porém com risco mais alto para o cenário 03, justificado pelo prazo superior imposto ao projeto.

6.1.4. Avaliação pelo IBC

O IBC é um índice geralmente utilizado mais para fins de representatividade do que necessariamente para fins de avaliação, embora seja possível avaliar viabilidade através dele, uma vez que apura retorno financeiro em relação ao investimento.

Pela representatividade do retorno em relação ao fluxo de caixa, o investimento é viável em todos os cenários, com um rendimento em torno de 2.200,74% e de 1.100,10% em valor descontado em relação ao valor inicial para o cenário 01, um rendimento por volta de 185,6% e de 95,6% em valor descontado em relação ao valor inicial para o cenário 02 e um rendimento em valor nominal por volta de 331,1 % e de 51,4% em valor descontado em relação ao valor inicial para o cenário 03 . É extremamente relevante considerar que entre os dois cenários existe uma diferença substancial em relação ao tempo de investimento, o que altera significativamente a percepção de risco.

6.1.5. Resultado da análise financeira

Após a análise e avaliação do projeto a partir de cada um dos métodos propostos, que, para este estudo se complementam e se reafirmam, conclui-se que, do ponto de vista financeiro, conforme pode ser observado na Tabela 55, que faz um comparativo entre cada um dos cenários proposto, o projeto é considerado viável e passível de implantação em todos os cenários, chamando a atenção para o risco mais alto, porém não limitante, em se tratando do cenário 03.

Tabela 55 - Comparação dos cenários propostos

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Payback Descontado	7 meses (6% da Vida útil)	4 anos e 6meses (45% da vida útil)	12 anos e 3meses (41% da vida útil)
VPL	1109,36%	89,50%	44,20%
TIR	173%	23,00%	13,00%
IBC Nominal	R\$ 22,74	R\$ 1,85	R\$ 3,31
IBC Descontado	R\$ 11,09	R\$ 0,90	R\$ 0,52

Fonte: Próprio autor, 2016

A análise procedida consiste em um estudo financeiro onde os indicadores e valores previstos e estimados estão vinculados também a eventos e condições não quantificáveis e imponderáveis, como cenário econômico e político, dentre outros. Por se tratar de um

projeto de investimento em uma área de base do setor público, partiu-se do pressuposto de um cenário estável, onde o risco é relativamente baixo.

Ainda assim, o projeto deve ser acompanhado de um plano de avaliação e controle, onde se confronta os resultados previstos com os alcançados, para, nos anos seguintes à sua implantação, apurar a concretização dos resultados previstos.

Vale lembrar que os resultados são produto de um estudo baseado em dados e informações do mercado atual, bem como cenários futuros esperados por profissionais de cada área (financeira, política, econômica, dentre outras). Assim sendo, sua concretização é totalmente dependente da efetivação dessas previsões, podendo uma mudança em qualquer um dos cenários inviabilizar o projeto.

7. ASPECTO AMBIENTAL

Em relação às questões ambientais, a conversão da cama de frango e da excreta das galinhas poedeiras em biofertilizante garantirá uma destinação mais adequada dos resíduos dos processos produtivos.

O processo de biodigestão contribui para a redução do volume de gases tóxicos liberados na atmosfera e, conseqüentemente, para o combate do aquecimento global. O cama de frango, quando depositado inadequadamente no solo, mesmo que como adubo, libera, durante o processo de fermentação, gás metano na atmosfera. Se comparado ao CO₂, o metano é mais nocivo, por sua maior eficiência na captura de radiação solar. Uma unidade de metano é vinte vezes mais poluente que o CO₂. Então, o uso de biodigestores contribui para a redução do efeito estufa. Após a conversão do metano em energia, é gerado o CO₂, menos poluente, que é liberado para a atmosfera (OLIVEIRA, 2003). O uso do biodigestor proposto neste trabalho visa reduzir a emissão de aproximadamente 14.400 m³/ano de metano no ambiente.

A utilização de sistemas fotovoltaicos é um dos modelos de produção de energia mais limpa, devido à não emissão de gases de efeito estufa e por não necessitar de alagamentos e modificações do ecossistema quando comparado aos sistemas hidroelétricos. Seu impacto ambiental está ligado a grandes centrais de geração, fontes de poluição visual, além da elevação da temperatura no local de instalação. Como o sistema proposto é de pequeno porte, este problema é minimizado.

As lâmpadas do tipo LED têm apelo ambiental, pois possuem capacidade de gerar a mesma iluminância com consumo de energia menor que as lâmpadas tradicionalmente usadas - incandescentes e fluorescentes. O emprego deste tipo de lâmpada no processo contribui com o meio ambiente de forma representativa, pois reduz a demanda por energia elétrica.

Com base nessa análise, podem ser consideradas viáveis ambientalmente as opções propostas por este estudo, pois o projeto tem como prioridade o uso de equipamentos que contribuem para a redução da degradação ambiental.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos pontos-chave do trabalho consiste na análise das fontes de consumo do sistema de produção de carne de frango e ovos, as quais foram comparadas com as mais recentes tecnologias. Durante esta análise, percebeu-se que a opção pela troca das lâmpadas do tipo fluorescente pelas do tipo LED apresentava um alto potencial de economia e, conseqüentemente, redução dos custos de implantação dos sistemas renováveis de geração de energia. A análise também demonstrou que o *Payback* do investimento é de aproximadamente sete meses e que a substituição representa uma redução no consumo de 272,12 kWh/mês, ou seja, uma economia mensal de R\$ 220,42 nas despesas com energia elétrica.

A produção de biogás a partir da cama de frango dos processos de avicultura de corte e de postura demonstra um potencial de ganho financeiro e ambiental. Apesar dos volumes de biogás gerados serem relativamente baixos, o investimento nos equipamentos para conversão da biomassa em biogás se mostra promissor. Ressalta-se, ainda, que o investimento no sistema de biodigestão totaliza o valor de R\$ 21.650,10, já considerando os equipamentos de conversão de biogás em energia elétrica. O *Payback* do investimento é de aproximadamente quatro anos e seis meses; considerando-se o tempo de vida útil, dez anos, garantido pelo fabricante, a economia durante o *cash flows* é de R\$ 43.038,08.

Durante a análise da demanda energética em relação ao potencial de suprimento do sistema de biodigestores, percebeu-se que a geração de energia não seria suficiente para suprir toda a demanda dos processos produtivos. Por isso, foi necessário verificar a viabilidade da utilização de outras fontes alternativas, que, neste estudo, foram energia eólica e energia solar.

Ao analisar a velocidade do vento disponível na região das instalações do processo produtivo, o resultado foi desfavorável à instalação de aerogeradores, por ser a velocidade do vento relativamente baixa, 1,03 m/s, sendo que os equipamentos de menor custo de aquisição e maior eficiência demandam velocidades superiores a 5 m/s.

Para aferir a possibilidade de instalação de um sistema de geração de energia solar, foi realizada uma pesquisa sobre a irradiação solar na região das instalações do processo produtivo. Esta pesquisa demonstrou que o tempo de insolação diária média anual é de sete horas, o que proporciona um potencial de geração de energia solar de 16 MJ/ m². dia. O ótimo índice de geração viabilizou o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para conversão de luz solar em energia elétrica. Este sistema foi dimensionado de forma a gerar

energia suficiente para prover toda a demanda de energia ainda não suprida pelo sistema de biodigestão. A capacidade de geração foi dimensionada para 40 kWh/dia, e o custo para implantação é de R\$ 100.856,00. O *Payback* do investimento é de doze anos. Considerando-se o tempo de vida útil, 30 anos, garantido pelo fabricante, a economia durante o *cash flows* é de R\$ 410.747,27.

Apesar dos tempos de *Payback* serem mais longos do que em processos produtivos de maior escala, a implantação em todos os cenários apresentados no estudo se mostra promissora. Por se tratar de uma instituição de ensino pública sem fins lucrativos, o estabelecimento de qualquer um dos cenários tem efeito positivo, pois, além dos ganhos financeiros evidenciados, colabora para a conscientização dos discentes e da comunidade em relação à utilização de fontes alternativas de energia, incentivando, conseqüentemente, instituições privadas a optarem pela implantação de sistemas semelhantes em seus processos produtivos.

8.1 Sugestões para trabalhos futuros

Para estudos futuros, sugere-se a análise de uso combinado dos demais resíduos gerados dentro da instituição em sistema de biodigestão, de forma a maximizar a geração de biogás. Também há a necessidade de um estudo mais aprofundado das metodologias, tecnologias e custos para purificação do biogás produzido, o que possibilitaria o aumento da eficiência na geração de energia.

Outro ponto não abordado é o uso do biofertilizante resultante do processo de biodigestão nas plantações da instituição, que possibilitará a redução do uso de fertilizantes de base mineral. Este estudo poderá demonstrar outros ganhos financeiros e ambientais gerados pela implantação dos sistemas ora propostos.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEPA, Associação Brasileira de Proteína Animal. São Paulo – SP, 2016.

ANDRAUS L. L.; BORGES E. R.; ABMAPRO - Associação Brasileira de Marcas Próprias e Terceirização. **Histórico da Sustentabilidade**. São Paulo, 2011.

AMORIM, V.; PALHA, M.; SILVA, S. **Comissionamento e Produção de Biogás a Partir de Vários Resíduos**. 2012.

APPOLINÁRIO, F. **Dicionário de Metodologia Científica: um guia para a produção do conhecimento científico**. São Paulo: Atlas, 2004.

ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL: BANCO DE DADOS SOLARIMÉTRICOS. Chigueru Tiba et al. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT/ NBR 10664**. Brasília, 1989.

BAMPI, V. **Sustentabilidade da Avicultura Brasileira**. Revista Avicultura Industrial. v.11 n. 1177. 2009.

BARRERA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamentos para zona rural**. 2 ed. São Paulo: ícone, 2003.

BORBA, S. M. P. **Análise de Modelos de Geração de Gases em Aterros Sanitários: Estudo de Caso**. Dissertação de Mestrado, COPPE-UFRJ, 2006.

BRAGA, B.; et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2 ed. São Paulo: Pearson, 2005

BRASIL. **Balanco Energético Brasileiro 2014**. Ministério de Minas e Energia. 2014

BRASIL. **Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. In: Diário Oficial da União. Distrito Federal, 2010.

BOTTOEON, C. **Introdução à avaliação de projetos**. Brasília; SPI, 2009.

CAMLOFFSKI, R. **Análise de investimentos e viabilidade financeira das empresas**. São Paulo: Atlas, 2014.

CAMPBELL, D.T., STANLEY, J.C. **Delineamentos experimentais e quase experimentais de pesquisa**. Editora da Universidade de São Paulo. SP. 1979.

CASSINI, Sérgio Túlio. **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES. Rima. 2003.

CASTILHOS JR, P. A. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB, 2003.

CASTILHOS JR, AB de, et al. **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

CELLARD, A. A análise documental. In: POUPART, J. et al. **A pesquisa qualitativa: enfoques epistemológicos e metodológicos**. Petrópolis, Vozes, 2008.

COMGAS - **Certificado da Análise do Biogás**. Relatório de Ensaio, São Paulo, 2003.

COSTA, D. F. **Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto**. 2006. 194 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2006.

COSTA, L. V. C. **Produção de biogás utilizando cama de frango diluída em água e em biofertilizante de dejetos de suínos**. Tese (doutorado em Agronomia - Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP. 2012. 75 f. São Paulo:, 2012.

CRUZ, Carla; RIBEIRO, Uirá. **Metodologia Científica: Teoria e Prática**. 2. Ed. Rio de Janeiro-RJ: Axcel Books do Brasil Editora, 2004.

DALFOVO, M. S.; LANA, R. A.; SILVEIRA, A. **Métodos Quantitativos e Qualitativos: um Resgate Teórico**. Revista Interdisciplinar Científica Aplicada, v. 2, n. 2005, p. 1–13, 2008.

DUTRA, R. **Energia eólica: princípios e tecnologia**. Rio de Janeiro, CRESESB, 2008.

EHRHARDT, M. C.; BRIGHAM, E. F. **Administração Financeira - teoria e prática**. São Paulo: Cengage Learning, 2012

FERNANDES, D. M. **Análise de riscos físicos e químicos em sistemas de tratamento de efluentes utilizando biodigestores no meio rural**. UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Trabalho de Conclusão de Curso. Medianeira, 2014.

FERLING, F. F. **Unidade movida a Biogás de aterro sanitário de São José dos Campos**. IEE-USP, 2003.

FILHO, P. DA S. **Produção de gás combustível: construção de um biodigestor caseiro**. IX Congresso de Iniciação Científica do IFRN, 2013.

FONTANINI, W. **Si-hidro: um sistema de informações para o sistema hidrotérmico brasileiro**. São Paulo, UNICAMP, 1995.

FREITAS, J.Z. Manual Técnico 04 – Esterqueiras para dejetos bovinos. PESAGRO. ISSN 1983-5671. Niterói: Programa Rio Rural, 2008.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira**. 12 ed. São Paulo: Editora Pearson, 2010.

GORREN, R. C. R. **Biocombustíveis - Aspectos sociais e econômicos: comparação entre Brasil, Estados Unidos e Alemanha** (S. T. Coelho, Ed.)Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP. 2009.

Guia do usuário HP 12c. 5. ed: Palo Alto - USA. HP, 2007.

GRUBB, Michael J; MEYER, Niels I. Wind Energy: Resources, Systems, And Regional Strategies. In: JOHANSSON, Thomas B. et al. **Renewable Energy: Sources for Fuels and Electricity**. Washington: Island Press, 1993. Cap. 3. p. 157-212

HELDER, R. R. **Como fazer análise documental**. Porto, Universidade de Algarve, 2006.

IFMG- INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS. 2016

INSTITUTO BIOTERRA SUSTENTÁVEL. **Panorama da gestão de resíduos no mundo**. 2013. Disponível em: <<http://biotera.blogspot.com.br/2013/03/panorama-da-gestao-de-residuos-na.html>> Acesso em: 08 de outubro de 2015.

JÚNIOR, B. C.; et al. **Embrapa – Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais**. 2. ed. Foz do Iguaçu: FAO. 2009.

KAUARK; , MANHÃES, M. **Metodologia da Pesquisa**: Um guia prático. p. 89, 2010.

LANA, G. R. Q. **Avicultura**. Recife: Editora Rural, 2000.

LIQUIGÁS. **Tabela de Conversão Energética**. Brasil, 2016.

LOPES, J. C. O. **Avicultura**. – Floriano, PI: EDUFPI; UFRN, 2011.

MARQUES, J. R. **Meio Ambiente Urbano**. 1 ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2005.

MAPA- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Projeções do agronegócio**. Brasília: MAPA, 2015

MAZZUCO, H. **Ações sustentáveis na produção de ovos**. Rev. Bras. Zootec. v.37 Viçosa. Jul. 2008.

MEA - Millennium Ecosystem Assessment. **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis.**, Washington, DC: Island Press, 2005.

MICHELIS, I.; GORDIN, M. H. O. **Avicultura. Campo grande-MS.** Mato Grosso do Sul. UFMS, 2004.

MONASTÉRIO, L. M.; NERI, M.C.; SOARES, S. S. D. **Brasil em desenvolvimento 2014: estado, planejamento e políticas públicas.** – Brasília: IPEA, 2014.

NETO, A. A.; LIMA, G. L. **Curso de Administração Financeira - 3 ed.** São Paulo: Atlas, 2014.

NOBRE, M. **Desenvolvimento sustentável: origens e significado atual.** Brasília: Ibama, 2002.

OLIVA, C.A; SOUZA, J.; SOUZA, S. N. M.; SORDI, A. **Potencial de conservação de energia nos processos de produção em uma propriedade rural.** An. 4. Enc. Energ. Meio Rural. 2002.

OLIVEIRA, P. A.; HIGARASHI, M. M.; NUNES, M. L. **Emissão de gases, na suinocultura, que provocam efeito estufa, sustentabilidade ambiental da suinocultura.** Concórdia, SC. Embrapa Suínos e Aves, 2003.

OLIVEIRA, P. A.; MARTINS, R. R.; PEDROSO, D.; LIMA, G. J. M. M.; LINDNER, E. A.; BELLI FILHO, P.; CASTILHO JÚNIOR, A. B.; SILVEIRA, V. R.; BALDISERA, I.; MATTOS, A. C.; GOSSMANN, H.; CRISTMANN, A.; BONETT, E.; HESS, A. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos.** Concórdia: EMBRAPA-CNPISA, 1993. 188p.

PAGANINI, J. F. **Produção de frangos de corte.** In: MENDES, A.; NAAS, I. A.; MACARI, M. (Orgs.). **Manejo da cana.** Campinas: FACTA, 2004.

PALHARES, J. C. P. **Uso da cama de frango na produção de biogás.** Concórdia: Embrapa suínos e aves, 2004.

PALHARES, J. C. P. **Manejo ambiental na avicultura.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011.

PEREIRA, A. L.; BOECHAT, C. B.; TADEU H. F. B.; *et al.* **Logística Reversa e Sustentabilidade.** São Paulo: Cengage Learning, 2011.

PORTAL BRASIL. **Variação anual IGP-DI e IGP-M.** 2016.

ROSA A. **Fundamentals of renewable energy processes.** 1. ed. California: Elsevier, 2005.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W; JAFFE, J. F. **Administração financeira: corporate finance.** 4 ed. São Paulo, Atlas, 2011.

SAMPAIO, F. **Produção centralizada a biogás - análise do impacto a nível cooperativo.** Dissertação de mestrado em engenharia eletrotécnica. 2012. 175 f. Instituto Superior de Engenharia do Porto. Dep. de Engenharia e Eletrotécnica. 2012.

SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. **The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data.** Afr. J. Agric. Res. Vol. 11(39), pp. 3733-3740, 29 September, (2016). DOI: 10.5897/AJAR2016.11522

SOTTI, G. de. **Biogás de digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos de restaurante universitário com efluente sanitário.** 2014. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

SOUSA, C.O.M. **Política Nacional dos Resíduos Sólidos: uma busca pela a redução dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).** Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade. V.07, N.03, 2012. P.113-127.

SOUSA, R. A. **Estudo da Eficiência Energética e Gestão de Energia em Edifícios Escolares.** Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major Energia. 2010. 140 f. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto, 2011.

SOUZA, C. F. ; et al..Instalações de gado de leite. Universidade Federal de Viçosa, 2004.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; *et al.* **Administração da Produção.** São Paulo: Atlas, 2010.

STEFANI, C. **Resíduos sólidos na sociedade consumerista pós-moderna e as políticas públicas municipais: os desafios para o desenvolvimento sustentável.** Caxias do Sul -

RS. Dissertação de Mestrado em Direito. Universidade de Caxias do Sul. Programa de Pós-Graduação em Direito, 2015.

TORRES, O. F. F. **Fundamentos da engenharia econômica e da análise econômica de projetos**. São Paulo: Cengage Learnig, 2006.

UBA-UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA. **Protocolo de Boas Práticas de Produção de Frangos**. São Paulo: UBA, 2008.

UBABEF. **Relatório anual de atividades 2014: ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal**. São Paulo: ABPA, 2015

UCZAI, P. **Energias Renováveis Riqueza Sustentável ao Alcance da Sociedade**. Centro de documentação e informação. Edições Câmara - Brasília. 2012