

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

RAFAELA FERNANDES MORENO

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA GERAÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS - ESTUDO DE CASO
EM CRIAÇÃO DE OVINOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2017

RAFAELA FERNANDES MORENO

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA GERAÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS - ESTUDO DE CASO
EM CRIAÇÃO DE OVINOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Clider Adriane de Souza Silva

CURITIBA

2017

RAFAELA FERNANDES MORENO

Estudo Da Viabilidade Econômica Da Geração De Energia Elétrica A Partir Do Biogás - Estudo De Caso Em Criação De Ovinos

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheira Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Curitiba, 13 de Junho de 2017.

Prof. Dr. Emerson Rigoni,
Coordenador de Curso
de Engenharia Elétrica

Profa. Mestre Annemahlen Gehrke Castagna,
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Prof. Me. Clider Adriane de Souza Silva
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Alvaro Augusto W. de Almeida
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Saul Hirsch
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Me. Clider Adriane de Souza Silva
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

Aos meus pais, meu marido Francisco e a toda minha família que,
sempre acreditaram em minha capacidade e não mediram esforços para
que eu chegasse até esta etapa de minha vida.
Obrigada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, que sempre me apoiaram e me passaram valores essenciais para meu crescimento. Me ensinaram a respeitar e amar a natureza.

Agradeço também ao meu marido Francisco, que sempre me apoiou imensamente, sempre esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis deste trabalho.

Ao meu professor orientador Clider Adriane de Souza Silva, pela oportunidade e suporte na elaboração deste trabalho.

Agradeço ao Lucas Vieira, dono da propriedade em estudo, por todas as informações e auxílio para realização do trabalho.

Ao meu amigo João Paulo, irmão na amizade que fez parte da minha formação e que continuará presente em minha vida com certeza.

*”Porque um dia é preciso parar de sonhar,
tirar os planos das gavetas e,
de algum modo, começar”.*

Amyr Klink

RESUMO

MORENO, Rafaela F. ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS - ESTUDO DE CASO EM CRIAÇÃO DE OVINOS. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

A energia é um insumo fundamental para o crescimento econômico e desenvolvimento humano de um país. Diante disso, garantir a estabilidade da oferta de energia, atrelado com um custo de produção e impacto ambiental reduzidos, é fundamental. A geração distribuída possibilita que propriedades produzam sua própria energia e reduzam a quantia de energia comprada da rede convencional. A geração de energia elétrica através da biomassa vem ganhando espaço na oferta interna, uma vez que seu insumo são passivos ambientais gerados na agroindústria. O presente estudo tem como objetivo analisar a viabilidade econômica da geração de energia elétrica através do biogás derivado do tratamento de dejetos ovinos, visando atender a demanda de uma pequena propriedade. Trata-se de uma análise ambiental e econômica realizada com base na literatura e fornecedores para diferentes plantéis de ovinos. Observou-se que para atender a demanda da propriedade em estudo, seriam necessários pelo menos 140 animais.

Palavras-chave: Biogás, Energia, Ovinocultura, Tratamento Anaeróbico

ABSTRACT

MORENO, Rafaela F. ECONOMIC VIABILITY STUDY OF BIOMASS POWER GENERATION - A CASE STUDY IN SHEEP FARMING. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Energy is a fundamental resource for a country's economic growth and human development. Taking this into account, it is fundamental to guarantee stability of energy offer, with reduced production costs and environmental impact. Distributed generation allows properties to generate their own electrical power, reducing their consumption through the grid. Biomass has been gaining participation in the internal supply of electrical power, since it uses as input environmental liabilities, leftovers from agriculture, to generate power. This study has as objective to analyze the economic viability of power generation using biogas created from sheep waste, aiming to meet the demand of a small property. It is an economical and environmental analysis based on literature and suppliers for different sheep flocks. It was shown that, to fulfill the power demand for the property being studied, would be necessary a herd of 140 animals.

Keywords: Biogas, Energy, Sheep Farming, Anaerobic Treatment

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	– Geração de eletricidade no cenário [r]evolução energética	19
FIGURA 2	– Rebanho de ovinos no Brasil nos últimos anos	21
FIGURA 3	– Digestor anaeróbico de cúpula fixa	31
FIGURA 4	– Digestor anaeróbico de tambor flutuante	31
FIGURA 5	– Digestor Tubular de Polietileno	32
FIGURA 6	– Digestor modelo Marinha	33
FIGURA 7	– Digestor modelo simplificado da Marinha	33
FIGURA 8	– Exemplo de um Motor Stirling	37
FIGURA 9	– Microturbina à gás	38
FIGURA 10	– Diagrama dos principais tipos de células a combustível	39
FIGURA 11	– Curral da Propriedade em Estudo	53
FIGURA 12	– Gráfico do Tempo de Retorno do Investimento	58
FIGURA 13	– Gráfico do Potencial de Geração de Energia	65
FIGURA 14	– Relação do CAPEX com o número de ovinos	66
FIGURA 15	– Relação do OPEX com o número de ovinos	66
FIGURA 16	– Relação da emissão de carbono equivalente com o número de ovinos	69

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	– Resíduos produzidos por espécies de animais (excrementos frescos)	23
TABELA 2	– Composição dos dejetos produzidos por diversas espécies de animais.	25
TABELA 3	– Composição biogás	27
TABELA 4	– Expectativa de produção de biogás por biomassa	28
TABELA 5	– Equivalentes energéticos por metro cúbico de biogás	34
TABELA 6	– Produção de Biogás	42
TABELA 7	– Geradores à Biogás	43
TABELA 8	– Gerador FOCKINK - 20kVA	44
TABELA 9	– GERADOR B4T-5000 Bio - BRANCO	45
TABELA 10	– Orçamento de Biodigestores: Ano base 2011	47
TABELA 11	– Orçamento de Biodigestores: Ano base 2017	47
TABELA 12	– Preço Médio por m ³ de Cada Item	48
TABELA 13	– Custos dos Parâmetros do Biodigestor Para Cada Cenário	49
TABELA 14	– CAPEX para cada cenário em estudo	50
TABELA 15	– OPEX para cada cenário	51
TABELA 16	– Potencial Atual de Geração de Biogás	54
TABELA 17	– Potencial de Geração Atual	54
TABELA 18	– Valores gastos com energia elétrica	55
TABELA 19	– Resultados obtidos para atender a demanda da propriedade	55
TABELA 20	– CAPEX e OPEX para cada gerador	56
TABELA 21	– Cálculo do Tempo de Retorno de Investimento para Sistema de 20 kVA ..	57
TABELA 22	– Cálculo do Tempo de Retorno de Investimento para Sistema de 3,6 kVA ..	58
TABELA 23	– Créditos de Carbono para biogás com 50% de concentração de Metano ...	63
TABELA 24	– Relação entre consumo e tempo de retorno de investimento	67
TABELA 25	– Tempo de retorno para cada potencial de geração	68

LISTA DE SIGLAS

ABIEC	Associação Brasileira de Indústria Exportadora de Carnes
AND	Autoridade Nacional Designada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANUALPEC	Anuário da Pecuária Brasileira
BM&F	Bolsa de Mercadorias e Futuros
CAPEX	Capital Expenditure
COCEL	Companhia Campolarguense de Energia Elétrica
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EU ETS	European Union Emission Trading Scheme
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FC	Fluxo de Caixa
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
GD	Geração Distribuída
GEE	Gases de Efeito Estufa
GMG	Grupo Motor Gerador
GWP	Global Warming Potential
IRBI	Instituto Brasileiro de Relações com Investidores
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONS	Operador Nacional do Sistema
ONU	Organização das Nações Unidas
ONUDI	Organização das Nações Unidas para Desenvolvimento Industrial
OPEX	Operational Expenditure
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PVC	Policloreto de Vinila

RCEs	Reduções Certificadas de Emissões
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e de Custódia
TRH	Tempo de Retenção Hidráulica
VP	Valor Presente
VPL	Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

C_{Total}	Custo Total do Sistema
CH_4	Metano
CO_2	Dióxido de Carbono
FE_2O_3	Óxido de ferro
G_{ano}	Geração por ano
G_{dia}	Geração por dia
H_2	Hidrogênio
H_2O	Água
H_2S	Sulfeto de Hidrogênio
K	Índice de eficiência de produção de biogás no biodigestor
NH_3	Amônia
N_{Ovinos}	Número de Ovinos
O_2	Oxigênio
P_{Biogas}	Quantidade de Biogás produzida por dia
T_{Ger}	Tempo de geração
tCO_2e	Toneladas de Dióxido De Carbono equivalente
$V_{Biomassa}$	Volume de Biomassa no Biodigestor
$V_{Dejetos}$	Volume médio de dejetos produzido por animal

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 TEMA	14
1.1.1 Delimitação do Tema	14
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS	14
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 Objetivo Geral	15
1.3.2 Objetivos Específicos	15
1.4 JUSTIFICATIVA	15
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	16
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2 FUNDAMENTOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 O CENÁRIO ENERGÉTICO BRASILEIRO ATUAL E FUTURO	18
2.2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA	19
2.3 OVINOCULTURA NO BRASIL	20
2.3.1 Resíduos Pecuários e Aspectos Ambientais	22
2.3.1.1 Resíduos de origem animal	23
2.3.1.2 Dejetos de ovinos	24
2.3.1.3 Características dos resíduos pecuários	24
2.4 BIOGÁS	25
2.4.1 Características do Biogás e Métodos de Filtração	26
2.4.2 Digestão Anaeróbica	28
2.4.3 Modelos De Digestores Utilizados No Meio Rural De Países Em Desenvolvimento	30
2.5 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DO BIOGÁS	34
2.5.1 Tecnologias Utilizadas Para Conversão Do Biogás Em Energia Elétrica	35
2.5.1.1 Motor de Combustão Interna	36
2.5.1.2 Motor Stirling	36
2.5.1.3 Microturbinas a gás	37
2.5.1.4 Célula a Combustível	38
2.5.2 O Cenário Da Geração De Energia Elétrica Através Do Biogás No Brasil	39
3 GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DO TRATAMENTO DE RESÍDUOS DE OVINOS	40
3.1 DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR	40
3.2 CÁLCULO DO VOLUME DO BIODIGESTOR E BIOGÁS PRODUZIDO	41
3.3 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA À BIOGÁS	42
3.4 INVESTIMENTO INICIAL DO PROJETO	45
3.4.1 Custos da estrutura elétrica	45
3.4.2 Custos da estrutura do biodigestor	46
3.5 CÁLCULO DOS CUSTOS DE INVESTIMENTO	49
3.6 CÁLCULO DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO	50
3.7 CÁLCULO DE TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO	51
3.8 ESTUDO DE CASO	53

3.8.1	Potencial de geração	54
3.8.2	Consumo da Propriedade	54
3.8.3	Proposição de um novo sistema	55
3.8.4	Retorno do Capital Investido	56
4	REDUÇÃO DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA	59
4.1	MERCADO DE CARBONO	59
4.1.1	Créditos de Carbono	61
4.1.2	Redução de emissão de Gases de Efeito Estufa para o Estudo	62
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS	64
5.1	ANÁLISE DA GERAÇÃO DE ENERGIA	64
5.2	ANÁLISE DA REDUÇÃO DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA	68
6	CONCLUSÃO	70
	REFERÊNCIAS	72
	Apêndice A – APRESENTAÇÃO DOS CENÁRIOS	79

1 INTRODUÇÃO

A energia é fundamental para o crescimento econômico e desenvolvimento humano de um país. Essa conexão acontece, pois, o desenvolvimento humano se dá através da satisfação das necessidades básicas, como por exemplo, alimentação, emprego, serviço de saúde, saneamento básico, entre outros. Consequentemente, a produção energética é definida pelo desenvolvimento dos países, sendo maior quando o país é mais desenvolvido. Contudo, a geração de energia elétrica em sua maioria é proveniente de modelos prejudiciais ao meio ambiente, uma vez que causam grande impacto ambiental devido a utilização de recursos fósseis ou grandes alagamentos. Dessa forma, para garantir a estabilidade da produção energética, o crescimento econômico e o desenvolvimento humano, é necessário melhorar não só a eficiência energética dos modelos convencionais, mas também adotar novos modelos de geração de energia, as chamadas fontes alternativas de energia (PASTERNAK, 2000).

A oferta interna de energia é, em sua maioria, proveniente de fontes renováveis, das quais as Hidrelétricas representam 64% dessa produção, mas que depende essencialmente da estabilidade do nível dos reservatórios, o que torna o sistema vulnerável a alterações no regime de chuvas e dependente de outras fontes de energia para complementação no sistema, e que, em sua maioria são complementados com fontes que utilizam combustíveis fósseis, como é o exemplo das termelétricas que vem sendo utilizado no momento atual (EPE, 2016).

No estudo feito pela EPE (2014) sobre a demanda de energia elétrica para os próximos 50 anos, foi proposta uma maior participação da oferta descentralizada de energia. Os grandes projetos centralizados se tornam menos viáveis atualmente, não só pelo alto custo de investimento, mas também pela pouca eficiência das hidrelétricas a fio d'água. Devido às perspectivas de concentração populacional em grandes centros urbanos, das fontes renováveis de menores escalas e da integração cada vez maior dos sistemas de energia, a EPE (2014) enfatiza que o papel da geração descentralizada é de suma importância para o equilíbrio da geração de energia.

“O consumidor final de energia é um importante ator na equação da expansão do setor energético. [...] O papel do consumidor final nesse contexto

inclui tanto ações de eficiência energética quanto de geração distribuída, que contribuem para reduzir a necessidade de expansão do setor elétrico brasileiro no longo prazo” (EPE, 2014, P. 10).

Neste contexto, as fontes renováveis de energia ganham espaço no planejamento da demanda de energia na matriz energética brasileira, pois são modelos que agredem menos o meio ambiente, que utilizam para produção de energia recursos que podem ser refeitos na natureza, ou que tem incidência contínua. Como exemplos é possível citar o sol, o vento, compostos orgânicos, entre outros (EPE, 2014).

O biogás é uma fonte que vem ganhando espaço na agroindústria, setor que exige uma grande demanda de energia e que pode utilizar os resíduos produzidos dentro das próprias propriedades como fonte de energia. Tais resíduos, no passado eram depositados em aterros sanitários ou muitas vezes destinados a lugares impróprios, poluindo o solo e contribuindo para o efeito estufa, o que favorece o aquecimento global. Como a utilização do biogás como fonte energética é considerada um Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), a propriedade pode receber Certificados de Emissões Reduzidas e, ainda, aumentar sua renda através da venda de Créditos de Carbono (MMA, 2016).

A fim de garantir a estabilidade da demanda de energia, diminuir o custo da produção de energia e reduzir o impacto ambiental gerado através de métodos de geração que utilizam combustíveis fósseis como matéria prima, buscas em prol de outras fontes de energia vêm crescendo.

Dentre as fontes renováveis de energia, o biogás ganha destaque devido a seus inúmeros pontos positivos, propiciando ganhos em termos econômicos, ambientais e sociais, e servindo como estudo para o desenvolvimento do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, incentivando esta modalidade (MMA, 2016).

O estudo do presente trabalho apresenta como alternativa a geração de energia elétrica utilizando biogás como matéria prima, a fim de colaborar com a estabilidade da oferta de energia elétrica na matriz energética brasileira e reduzir a emissão de gases na atmosfera, diminuindo o impacto socioambiental. Este estudo apresenta as vantagens e ganhos de inserir sistemas de geração de energia elétrica utilizando o biogás como combustível, sendo delimitado para a aplicação com ovinocultura em pequenas propriedades.

1.1 TEMA

Estudo da viabilidade econômica da inserção de um sistema de geração de energia elétrica através do biogás na geração distribuída.

1.1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A produção de energia através do tratamento de resíduos agroindustriais estão cada vez mais presente, porém para alguns tipos de animais, ainda são poucos os estudos realizados. O enfoque deste trabalho será na análise da viabilidade econômica da geração de energia através de dejetos ovinos, considerando a demanda de energia e visando a autossuficiência.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

A EPE (2014), em nota técnica, destaca que a união dos conceitos de geração distribuída e produção descentralizada de energia é fundamental na estabilidade da oferta de energia a longo prazo. Diante do cenário onde a energia proveniente de termelétricas é cada vez mais presente no sistema de energia brasileiro, devido ao cenário de períodos de seca em um país onde 65% da oferta interna de energia elétrica é proveniente de hidrelétricas (EPE, 2014), a necessidade de repensar os modelos energéticos, trazendo novas soluções capazes de garantir a crescente demanda por energia se torna cada vez mais evidente.

O biogás é uma das fontes de energia que se apresentam atualmente como um ótimo aliado na produção descentralizada de combustíveis, sendo muito interessante na autogeração de energia elétrica em indústrias e agroindústrias, uma vez que estas geram grandes volumes de resíduos orgânicos que podem ser aproveitados para a produção de biogás através da digestão anaeróbica, evitando o descarte incorreto que contribuiria para o aumento de emissões de gases de efeito estufa e contaminação do lençol freático. Diante disso, informações precisas sobre capacidade de produção em qualquer escala, regulamentação, resolução, tecnologia disponível e valor econômico são de suma importância para análises de viabilidade do biogás para estabilidade da oferta de energia e diminuição do impacto socioambiental (BLEY JÚNIOR, 2015).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Realizar um estudo sobre o potencial de produção de biogás oriundo da ovinocultura visando a geração de energia elétrica e, baseado nele, desenvolver um estudo de caso teórico para sua aplicação.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Realizar pesquisa para descrever o potencial do biogás como fonte de geração de energia elétrica.
- b) Analisar os custos de implantação e manutenção de um sistema de geração de energia elétrica a partir dos dejetos de ovinos.
- c) Analisar econômica e ambientalmente a implantação do sistema para uma propriedade da região metropolitana de Curitiba.
- d) Analisar o potencial de redução da emissão dos gases de efeito estufa através do tratamento dos dejetos de ovinos.

1.4 JUSTIFICATIVA

Segundo a EPE (2014), a crescente demanda energética tem apontado que a produção em larga escala e centralizada pode não garantir a estabilidade do fornecimento de energia a longo prazo e que a geração distribuída com fontes renováveis precisa ser inserida na matriz energética para que essa estabilidade se torne viável.

A autoprodução é um método muito vantajoso, uma vez que esse tipo de geração ocorre dentro de propriedades particulares, gerando energia elétrica para abastecer as mesmas e também um excedente que pode ser comercializado através das concessionárias de energia.

Este estudo tem como propósito a análise de dados referentes à geração de energia elétrica através de dejetos ovinos, visando a inserção do mesmo na geração distribuída. Com este estudo, é possível ter melhores informações sobre o aproveitamento da energia do biogás, independentemente do tamanho da propriedade, custo, qualidade de produção energética, para que os resíduos oriundos de ovinos gerados nas propriedades sejam aproveitados para gerar

energia e diminuir o impacto que os mesmos causam quando não aproveitados e não tratados (BLEY JÚNIOR, 2015).

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Primeiramente, será realizada uma pesquisa em artigos, notas técnicas, trabalhos acadêmicos, para que o referencial técnico seja bem embasado, permitindo descrever como é feita a geração distribuída de energia, bem como o cenário da produção de energia elétrica através da geração distribuída e através do biogás no Brasil.

Em seguida, será feito um levantamento de dados sobre o tratamento de resíduos pecuários, formas de obtenção do biogás, características qualitativas do mesmo e sistema de geração de energia elétrica através do biogás.

Será realizado um levantamento da quantidade de material orgânico necessário para que a implantação do sistema seja viável.

Após, será realizado um estudo de caso teórico para implementação de geração de biogás em uma propriedade que cria ovinos, com o intuito de verificar a viabilidade do sistema.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

- No primeiro capítulo foi apresentada a introdução, que compreende a descrição do tema que foi pesquisado, os problemas e premissas, os objetivos, a justificativa, os procedimentos metodológicos e a estrutura do trabalho.
- O segundo capítulo apresentara o referencial teórico, composto pela descrição de como é feita a geração distribuída de energia e o cenário no Brasil na geração de energia através do biogás. Também foi feito um levantamento de dados sobre o tratamento de resíduos orgânicos e sistema de geração de energia elétrica através do biogás.
- No terceiro capítulo será feito um estudo teórico sobre a viabilidade econômica da implantação de um sistema de geração de energia elétrica a partir dos dejetos ovinos em uma propriedade localizada na região metropolitana de Curitiba.
- No quarto capítulo será realizado um estudo teórico sobre a redução de emissão de gases de efeito estufa através do tratamento dos dejetos de ovinos.
- No quinto capítulo serão apresentadas as análises dos resultados obtidos através do estudo realizado.

- No sexto capítulo serão apresentadas as conclusões obtidas a respeito da viabilidade econômica do sistema proposto no trabalho e a redução da emissão de gases de efeito estufa através do tratamento de dejetos ovinos na propriedade em estudo.

2 FUNDAMENTOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O CENÁRIO ENERGÉTICO BRASILEIRO ATUAL E FUTURO

A energia é um insumo fundamental na evolução da qualidade de vida da sociedade e sua disponibilidade gera melhorias na expectativa de vida, na escolaridade e no desenvolvimento econômico. Assim, para garantir a oferta de energia elétrica em um país, é preciso um estudo com projeções futuras de seu grau de desenvolvimento econômico e consumo energético.

A hidroeletricidade é a principal fonte de geração de energia elétrica do Brasil devido à sua grande disponibilidade no país. Quando comparada a outras fontes de energia, pode-se dizer que esta apresenta um impacto ambiental inferior e um baixo custo de geração, o que a torna mais viável. Entretanto, quando a matriz energética é dependente de uma ou poucas fontes de geração, o sistema pode se tornar vulnerável às adversidades. Ao passo que num cenário ideal a escolha pela tecnologia resulta em um menor custo de geração, uma crise pode resultar na desestabilização da matriz, demandando medidas mais drásticas, como a necessidade de atuação de fontes de custo mais elevado ou racionamento (PIRES, 2015).

Como por exemplo, o constante acionamento das usinas termelétricas a fim de suprir a demanda de energia atrelado ao racionamento de 2001, questiona a eficiência da matriz elétrica atual e sua estabilidade para os próximos anos. É possível observar através dos dados de geração de energia do sistema nacional disponibilizados pelo ONS (2016), que nos últimos anos, apesar da crise hídrica, o crescimento da geração total se manteve, mas que para isso foi preciso o auxílio das termelétricas, que possuem um alto custo e elevada emissão de gases poluentes (ONS, 2016).

Segundo o MME (2016), em 2014 a taxa da oferta de energia a partir de hidroelétricas foi de -5,6% em relação ao ano anterior e em 2015 essa taxa se manteve negativa, com -3,2%, que se deve pela continuidade dos baixos índices de chuvas (MME, 2016).

Este cenário abre a oportunidade para o desenvolvimento da geração distribuída com

fontes alternativas de energia, mais baratas e menos poluentes, gerando energia próximo ao consumidor e que, em conjunto com as hidrelétricas, possam suprir a demanda energética, diminuindo a necessidade do acionamento das termelétricas. Na projeção para 2050 mostrada por Teske et al. (2013) e representada na Figura 1, as fontes renováveis representarão 91,9% na participação do setor elétrico, o que não só tornarão o Brasil numa potência energética renovável, mas também reduzirão as emissões brasileiras de CO₂ em 60% (TESKE et al., 2013).

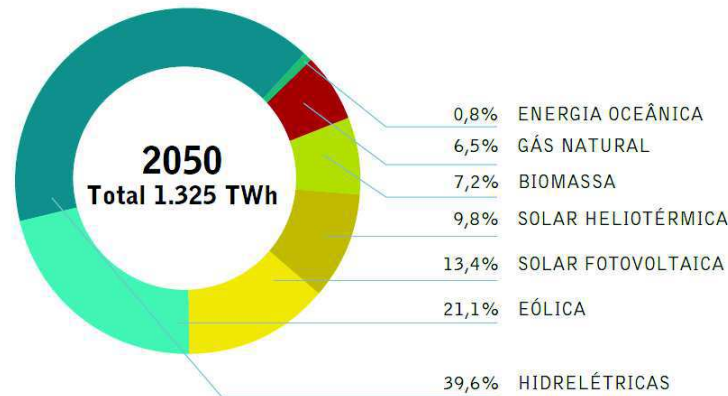


Figura 1: Geração de eletricidade no cenário [r]evolução energética

Fonte: (TESKE et al., 2013)

2.2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA

A geração distribuída é caracterizada pela produção de energia por geradores de pequeno porte, conectados ou não à rede, situados próximos aos consumidores. Outros termos comumente utilizados para geração distribuída são autoprodução, cogeração ou geração descentralizada (ACKERMANN et al., 2001) (BLEY JÚNIOR, 2015).

As vantagens da produção de energia próximo às cargas para a matriz elétrica são inúmeras: redução da perda devido ao menor transporte da energia elétrica, melhoria do nível da tensão da rede nos horários de pico e a diversificação da matriz energética. A escolha da tecnologia de geração depende da disponibilidade dos recursos energéticos e da carga instalada (ANEEL, 2016).

Outro aspecto importante relacionado à geração distribuída é que muitas vezes esse é o único método de fornecimento de energia para algumas comunidades isoladas, onde a alimentação por meio da rede de transmissão e distribuição é inviável por motivos econômicos, legais e(ou) ambientais. Assim sendo, a geração distribuída pode contribuir com o atendimento à Lei n.º 10.438/2002, que propõe a universalização do serviço público de energia elétrica

(ANEEL, 2002).

Por outro lado, com o aumento de geradores conectados à rede de distribuição, a complexidade de operação da rede aumenta, dificultando a cobrança pelo uso do sistema elétrico, além das agências operadoras da rede necessitarem alterar seus procedimentos de operação, controle e proteção para garantir a segurança do sistema e dos operadores (ANEEL, 2016).

O produtor que gera energia dentro de sua propriedade, mesmo que de baixo impacto no âmbito nacional, ele colabora com a geração de energia, diminuindo a demanda da rede. Além disso, o sistema de geração de energia através do tratamento de resíduos pode ser instalada em regiões remotas, oferecendo à essas comunidades uma qualidade de vida melhor.

Em abril de 2012, a ANEEL (2012) criou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, a partir da Resolução Normativa N° 482/2012, permitindo que o consumidor brasileiro possa gerar sua própria energia elétrica a partir da cogeração qualificada ou através de fontes renováveis e fornecer a energia excedente para a rede.

A fim de aumentar o público alvo, a ANEEL (2012) revisou a antiga Resolução e publicou a Resolução Normativa n° 687/2015. As novas regras que começaram a valer desde 1° de março de 2016 dessa Resolução, classificam a geração distribuída da seguinte forma (ANEEL, 2015):

- Micro GD – capacidade menor ou igual a 75kW;
- Mini GD ou Pequena escala – capacidade superior a 75kW e menor ou igual a 3MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5MW para cogeração qualificada;

A ANEEL (2012) estabelece que o sistema de cogeração qualificada é aquele que promove aproveitamento energético igual ou maior que 75%.

2.3 OVINO CULTURA NO BRASIL

O Brasil é o quinto maior país do mundo, com a extensão de 8,5 milhões de km², onde 20% de sua área total é constituída por pastagem (aproximadamente 174 milhões de hectares), o que favorece o setor pecuário (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2016) (ABIEC, 2016a).

Em 2015, o Brasil possuía um rebanho de ovinos de aproximadamente 18,4 milhões de cabeças (FAOSTAT, 2016). O Nordeste é a região com os maiores rebanhos (representando

57% em 2014 (AES et al., 2016)), seguido da região Sul (representando 29% em 2014 (AES et al., 2016)). É também uma atividade crescente em outras regiões do país, como a região Centro-Oeste, onde destaca-se o estado do Mato Grosso do Sul (WANDER; MARTINS, 2008). Além disso, Quadros et al. (2010) ressaltam que no semiárido brasileiro, "a caprino-ovinocultura é uma das alternativas socioeconômicas mais importantes, com destaque para a agricultura familiar", uma vez que essa região possui superfície agrícola útil limitada, baixo nível de precipitação e solos inférteis (FILHO, 2009).

É importante ressaltar também que o estado do Paraná possui um plantel ovino de elevado padrão genético, reprodutor e exportador de matrizes para outros estados brasileiros (EMBRAPA, 2010).

A Figura 2 mostra a evolução do rebanho de ovinos no Brasil nos últimos anos. Percebe-se que o setor vem crescendo.

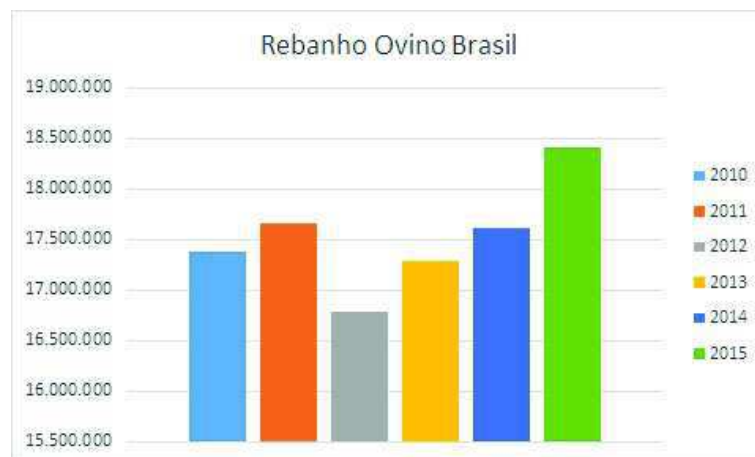


Figura 2: Rebanho de ovinos no Brasil nos últimos anos

Fonte: (FAOSTAT, 2012)

O Brasil possui um consumo *per capita* de carne ovina pequeno quando comparado às demais carnes (bovinos, aves e suínos). De acordo com ANUALPEC (2011), a quantidade ingerida de carne ovina é em torno de 500 gramas por pessoa no ano, que varia de acordo com a sazonalidade da oferta e pela variação da qualidade do produto. Entretanto, a demanda por produtos da ovinocultura vem aumentando nos últimos anos, principalmente em grandes centros urbanos e devido à abertura de mercados externos (ARAÚJO, 2012).

Segundo AICH e WATERHOUSE (1999), a criação de caprinos e ovinos tem como lado positivo a alta capacidade destes animais de se adaptarem a diferentes climas, podendo viver em regiões de estepe, rochas e diferentes vegetações (regiões que muitas vezes são

consideradas pobres e são desprezadas pela agricultura). Assim, estes animais representam um papel importante na diversificação da economia, transformando recursos marginais em produtos de qualidade (leite, lã, carne, couro e esterco). Também enfatizado por estes autores, a produção destes animais é mais vantajosa do que outras espécies, porque geram menores desgastes ao solo (erosão pela demanda de alimento e pelo pastejo) (AMORIM, 2005).

Com a crescente demanda do setor pecuário, melhorias de qualidade são cada vez mais exigidas. Segundo ABIEC (2016b), "a tecnologia aplicada à pecuária está cada dia mais presente no rebanho brasileiro", e que aliada com o desenvolvimento de pesquisa nacional, impulsiona os índices de produtividade dos animais e colabora para a eficiência e sustentabilidade da pecuária.

2.3.1 RESÍDUOS PECUÁRIOS E ASPECTOS AMBIENTAIS

A pecuária pode ser definida como a criação de espécies de animais com o objetivo de utilizar seus produtos. Os efeitos ambientais gerados por essa atividade não eram muito notados até pouco tempo, pois como a quantidade de resíduos produzidos eram menores, eram completamente utilizados como adubo e complemento orgânico nas plantações, um sistema equilibrado com a natureza, que lidava com os resíduos de forma saudável. No entanto, com o aumento da população e do consumo, fez-se necessária a massificação dos animais, o que resultou na produção de resíduos em quantidade além da que a natureza é capaz de absorver. A consequência disso é o acúmulo de resíduos, que se torna um passivo ambiental poluindo o meio ambiente (ONUUDI, 2013).

A permanência dos resíduos no solo também prejudica o crescimento da forragem devido ao bloqueio de nutrientes essenciais para o desenvolvimento do mesmo (HIRATA, 1990). Além da proliferação de moscas, de 10 a 30% da área total da pastagem é rejeitada devido à presença dos resíduos no solo (NOVAES, 1985).

Os excrementos produzidos pela criação extensiva ficam dispostos no ambiente, de modo que, quando chove são levados aos cursos d'águas, lençóis freáticos, lagos e reservatórios, contaminando-os. O excesso de nutrientes como nitrogênio e fósforo, presentes nos excrementos e em contato com a água diminuem a qualidade da mesma, em decorrência da degradação anaeróbica, e a formação de gases poluentes (BLEY JÚNIOR et al., 2009) .

Desta forma, a digestão anaeróbica permite reduzir o problema ambiental, possibilitando a utilização do composto como fonte de energia, o que pode melhorar a qualidade de vida do produtor e, ainda por cima, resolver problemas energéticos (ONUUDI, 2013).

2.3.1.1 RESÍDUOS DE ORIGEM ANIMAL

Os resíduos de origem animal, conhecidos também como esterco, são constituídos pela mistura de fezes, urina, poeira e camas, que geralmente são feitas de compostos orgânicos, como por exemplo palha, serragem, folha seca, terra, entre outros (AMORIM, 2002).

Os dados referentes à produção de resíduos pecuários variam muito, pois os resíduos de origem animal dependem de inúmeros fatores, como por exemplo, alimentação, estado fisiológico, espécie do animal, tamanho, entre outros. Outro fator que interfere na variação do volume de resíduos produzidos é a condição onde os animais vivem e a frequência de lavagem do ambiente. Em resumo, é impossível determinar com precisão a produção real, assim a bibliografia será utilizada como forma de orientação, pois é imprescindível para estudo da viabilidade do sistema (ONUUDI, 2013) (HORN et al., 1994).

Moffitt (1999) revela que as características dos excrementos são influenciados por vários fatores, como por exemplo, clima, espécie, dieta, tipo do confinamento, idade, estágio de ciclo reprodutivo, entre outros. Ainda diz que o modo de armazenamento e tratamento dos resíduos também são influenciados pela flutuação, sedimentação e degradação biológica.

Como dado orientativo, a Tabela 1 mostra valores médios dos resíduos produzidos por algumas espécies de animais do setor pecuário. É possível notar que a quantidade de resíduos produzidos por animal varia desde 0,1kg/d em aves até 50kg/d em vacas leiteiras (ONUUDI, 2013).

Tabela 1: Resíduos produzidos por espécies de animais (excrementos frescos)

Espécie Pecuária	Peso Animais (kg)	Quantidade (kg/d)	Peso vivo (%)
Bovinos de carne	200-500	15-30	5,3-7
Vacas leiteiras	450-600	30-50	6-9
Ovinos	45-50	1,5-5	3-10
Porcos adultos	160-250	5,8-25	2,5-10
Porcos de engorda	45-100	3-9	5-10
Porcos post-desmame	8-40	1,3-4,5	7-17
Frangos de carne	1-2,5	0,10-0,17	6-8
Poedeiras	2-2,5	0,15-0,25	7-12

Fonte: Adaptado de (AEE, 2010) apud (ONUUDI, 2013)

De acordo com Steinfeld et al. (2006), o Brasil produz anualmente cerca de 1,36 milhão de toneladas de metano oriundo dos dejetos animais.

A emissão de metano oriundo dos dejetos animais depositados no pasto ou manejados a seco tem pouca significância, pois a produção desse gás exige condições sem a presença de ar (anaeróbicas). Isto é, a produção de metano só acontece quando os dejetos forem dissolvidos em água e/ou depositados em biodigestores, entretanto, quando em contato com cursos d'água, lagoas naturais ou de decantação, os dejetos são altamente poluidores (STEINFELD et al., 2006). De acordo com Bley Júnior (2008), em comparação com o dióxido de carbono, o metano tem um potencial de poluição no mínimo 21 vezes maior.

2.3.1.2 DEJETOS DE OVINOS

O esterco ovino é avaliado por Alves e Pinheiro (2005) como "um produto valioso e sua utilização prevê a possibilidade de recuperação de terrenos degradados", bem como uma alternativa de fonte de renda muito importante para os produtores.

Jardim (1977) e Sales (1978) apresentaram o potencial de utilização do esterco de caprinos e ovinos como um dos melhores, devido à sua riqueza em nitrogênio, fósforo, potássio e ácido fosfórico. Além disso, eles afirmaram que o esterco desses animais é um excelente adubo, indicado para diversas culturas hortícolas, tabaco e oleaginosas. Devido ao seu potencial nutritivo, os criadores podem comercializar o resíduo, resultando numa fonte de retorno dos investimentos (QUITTET, 1990) (SALES, 1978) (FIGUEIREDO et al., 2012).

Em relação aos aspectos ambientais, segundo MCT (2010), em 2008, no estado de São Paulo, a emissão total de metano proveniente da ovinocultura (considerando dejetos e fermentação entérica), foi de 2,34Gg, dos quais 2,27Gg foram gerados pela fermentação entérica. Além disso, de acordo com IPCC - Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006), em países desenvolvidos, a emissão anual de metano por ovino é de 8 kg (considerando uma média do peso dos animais de 65kg) e em países em desenvolvimento esse valor é de 5 kg (considerando ovinos de aproximadamente 45kg respectivamente).

2.3.1.3 CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS PECUÁRIOS

As características dos resíduos pecuários podem ser analisadas considerando suas propriedades físicas e químicas. Na Tabela 2 estão apresentadas algumas características dos dejetos produzidos por várias espécies de animais, com base na concentração de nutrientes (MARCHIORI, 1990).

Tabela 2: Composição dos dejetos produzidos por diversas espécies de animais.

Animais	Água (%)	Nitrogênio (kg/t)	Fósforo (kg/t)	Potássio (kg/t)
Aves	68	14,0	9,5	3,5
Ovinos	64	14,0	5,0	12,0
Equinos	59	6,5	2,0	7,5
Suínos	87	5,0	3,0	4,0
Bovinos	79	5,5	2,0	6,0

Fonte: Adaptado de (JORGE 1983), apud (MARCHIORI, 1990)

O teor de água nas fezes desses animais varia entre 51 e 75% da matéria natural (AGRAZ, 1989) (QUITTET, 1990).

Referente às características dos dejetos ovinos, é importante destacar sua característica de degradação por microrganismos, o que gera o biogás. Para nosso estudo, os gases de maior importância, resultantes do manejo dos dejetos, produzidos em condições anaeróbicas, são o Metano (CH₄), Sulfeto de hidrogênio (H₂S) e a Amônia(NH₃) (CORBITT, 1990).

2.4 BIOGÁS

O biogás é uma fonte de energia renovável proveniente da fermentação anaeróbica (na ausência de oxigênio) de compostos orgânicos de diferentes tipos, tais como resíduos sólidos agroindustriais, plantas, entre outros. É considerado renovável por ser um processo natural do ciclo biogeoquímico do carbono, pois toda matéria orgânica no fim do ciclo de vida é atacada por microrganismos responsáveis por sua decomposição (BLEY JÚNIOR, 2015) (AVACI, 2012).

É considerado combustível natural, com aplicações semelhantes ao gás natural, que pode ser utilizado no setor agropecuário para iluminação, aquecimento, secagem de grãos, cocção, geração de energia, entre outros (GENOVESE et al., 2006).

Esta fonte de energia renovável despertou grande interesse ao longo dos últimos anos por sua característica de fácil implementação, principalmente no setor rural, que possui abundância em matérias biodegradáveis. O uso do biogás para geração de energia elétrica no setor rural traz uma vantagem extra, pois o processo fornece biofertilizante, que pode ser usado dentro da propriedade. Além disso, problemas de saneamento básico podem ser solucionados através do processo (ONUDI, 2013).

A FAO (FAOSTAT, 2012) acredita que o biogás, como fonte de energia, pode impulsionar as atividades agropecuárias de pequenos produtores na América Latina e no Caribe, reduzindo a emissão de gases de efeito estufa. A ONU também indicou que devido à instabilidade do preço do petróleo atrelado à necessidade dos países de possuírem maior independência energética, a bioenergia e os biocombustíveis se tornaram mais atrativos nos últimos anos. Ainda, destacou que a América Latina é responsável por grande parte dos biocombustíveis produzidos no mundo (ONUDI, 2013).

Considerando as características do setor agropecuário, os agricultores podem utilizar os resíduos produzidos em suas propriedades, gerando energia no local para consumo próprio ou vendendo o excedente para as concessionárias, e atrelado a isso, podem contribuir para a redução da poluição ambiental. Como resultado, tem-se a redução do gasto com energia elétrica e a contribuição na matriz energética nacional (ONUDI, 2013).

A utilização de biodigestores ainda é baixa na América Latina. Entretanto, a criação do Centro Internacional de Energias Renováveis com ênfase no Biogás (CIBiogás-ER) mostra que o interesse por essa alternativa vem crescendo. Este centro está situado no Parque Tecnológico de Itaipu, cujo objetivo é realizar pesquisas sobre o biogás, capacitar especialistas, entre outras funções (BLEY JÚNIOR, 2015).

O desenvolvimento do biogás em todo o mundo é motivado pelos aspectos ambientais e a necessidade de energias renováveis. Esta tecnologia possibilita que problemas mundiais sejam amenizados, como por exemplo a gestão de resíduos urbanos, geração de energia, e poluição ambiental (ONUDI, 2013).

2.4.1 CARACTERÍSTICAS DO BIOGÁS E MÉTODOS DE FILTRAÇÃO

O biogás bruto é composto por diversos gases, porém o principal é o gás metano (CH_4), que é um gás incolor, inodoro e altamente inflamável quando em contato com o ar.

O segundo gás presente em maior quantidade no biogás é o dióxido de carbono (CO_2), que em grandes quantidades no biogás prejudica seu potencial energético (HAAS, 2013).

Outros gases com menores proporções também são encontrados, como ilustrado na Tabela 3:

Tabela 3: Composição biogás

Gases	Concentração
Metano (CH ₄)	50%-75% em vol.
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25%-45% em vol.
Água (H ₂ O)	2%-7% em vol. (20-40°C)
Sulfeto de hidrogênio (H ₂ S)	20 - 20.000 ppm
Nitrogênio (N ₂)	<2% em vol.
Oxigênio (O ₂)	<2% em vol.
Hidrogênio (H ₂)	<1% em vol.

Fonte: Adaptado de (FNR, 2010)

Apesar da baixa proporção do sulfeto de hidrogênio (H₂S), conhecido também como ácido sulfídrico, este composto deve ser destacado devido seu poder corrosivo e tóxico. Deve-se purificar o gás a fim de evitar o mau cheiro característico do componente, bem como, eliminar o seu efeito corrosivo, que pode prejudicar o sistema de condução e geração (PRATI, 2010).

Lima (2007) mostra que "a presença de vapor d'água, CO₂ e gases corrosivos, como o (H₂S), no biogás "in natura" pode constituir-se um problema para o seu armazenamento e o seu uso na produção de energia". As características corrosivas do ácido sulfídrico podem comprometer os equipamentos, tubulações e maquinário utilizado na geração de energia, reduzindo a vida útil dos mesmos.

Com o intuito de gerar energia através do biogás, é fundamental a remoção destes elementos a partir de equipamentos adequados, tais como filtros e dispositivos de resfriamento, condensação e lavagem (LIMA, 2007).

Alguns dos principais métodos de purificação do biogás utilizados nas tecnologias são:

- **Retirada do H₂S por óxido de ferro**

Neste método o biogás é injetado em uma torre preenchida com óxido de ferro (Fe₂O₃) e à medida que o gás circula pela torre, o sulfeto de hidrogênio fica retido pela reação química do mesmo com o óxido de ferro, purificando o biogás. Este processo é muito utilizado devido à simplicidade de operação e o baixo custo (HAAS, 2013).

- **Adição de oxigênio no sistema**

Através de um compressor, introduz-se pequena quantidade de oxigênio no biogás, o que resulta na oxidação do sulfeto, separando o enxofre, reduzindo a concentração de H₂S.

Este processo é de fácil operação e de baixo custo (HAAS, 2013).

- **Método *water scrubbing***

Este processo é baseado na lavagem do biogás contra corrente, filtrando o sulfeto de hidrogênio e o dióxido de carbono. É um dos métodos mais simples, eficientes e barato pois necessita apenas de água pressurizada e pouca infraestrutura (HAAS, 2013).

A Tabela 4 mostra a capacidade de produção de biogás por espécie de animal, bem como a concentração de metano. Entretanto, como dito anteriormente, as concentrações de metano variam dentro das espécies de acordo com a alimentação, modo de confinamento, idade, entre outros (COLATTO; LANGER, 2011).

Tabela 4: Expectativa de produção de biogás por biomassa

Biomassa utilizada (dejetos)	Produção de Biogás (a partir de material seco em $m^3 \cdot t^{-1}$)	Percentual de gás metano produzido
Bovinos	270	55%
Suínos	560	50%
Equinos	260	Variável
Ovinos	250	50%
Aves	285	Variável

Fonte: Sganzerla (1983) Adaptado de Colatto e Langer (2011)

2.4.2 DIGESTÃO ANAERÓBICA

Os passivos ambientais que são comumente descartados sem o devido tratamento causam impactos negativos à natureza, pois os ambientes naturais possuem limitada capacidade de restauração. A degradação não controlada causa liberação de gases de efeito estufa, e a eutrofização dos ambientes, resultando em outros problemas ambientais e de saúde humana.

O Brasil é experiente no tratamento de resíduos através da digestão anaeróbica. Alguns exemplos são o esgoto doméstico, resíduos industriais e agropecuários. Embora o país utilize o tratamento anaeróbico, o biogás gerado poderia ser melhor utilizado (PROBIOGÁS, 2015).

Como dito anteriormente e enfatizado por ONUDI (2013) "A degradação biológica da matéria orgânica biodegradável é um processo que ocorre no meio natural graças à ação de distintos microrganismos que, em função do meio em que se desenvolvem, podem ser aeróbicos,

anaeróbicos ou facultativos”. O processo mais utilizado para tratamento de resíduos é por digestão anaeróbica ou biometanização.

Os tratamentos anaeróbicos apresentam vantagens quando comparados com os processos aeróbicos, pois não necessitam arejamento. Outra vantagem é a captação do biogás, o que permite utilizá-lo para fins energéticos, uma vez que é constituído principalmente por metano (55-65%). Além disso, reduz a geração de lodo e como consequência, reduz os custos (ONUUDI, 2013).

Entretanto, a digestão anaeróbica é um processo que requer controle rigoroso a fim de assegurar seu correto funcionamento. O processo é sensível a sobrecargas orgânicas, que podem resultar na desestabilização do sistema. Por isso, são necessários tempo de retenção elevado e correto dimensionamento dos digestores (ONUUDI, 2013).

O processo de digestão anaeróbica é dividido em quatro etapas:

Hidrólise: a hidrólise é a primeira etapa da degradação anaeróbica da matéria orgânica. Nesta etapa, as partículas complexas (polímeros) são hidrolisadas pelas enzimas extracelulares produzidas por microrganismos hidrolíticos. Ou seja, as bactérias transformam a matéria orgânica em monômeros e polímeros solúveis, para garantir o acesso do substrato às células microbianas. Em alguns casos, a alta complexidade do material orgânico pode diminuir a velocidade do processo (ONUUDI, 2013) (MOLINO et al., 2013).

Fase Acidogênica: nesta etapa, as moléculas orgânicas solúveis são fermentadas, resultando em compostos que podem ser utilizados pelas bactérias metanogênicas e em compostos menores, que serão oxidados por bactérias acetogênicas (ONUUDI, 2013).

Fase Acetogênica: esta é a terceira etapa do processo, em que as moléculas menores, principalmente os ácidos graxos voláteis, se transformam em hidrogênio devido à ação das bactérias acetogênicas (ONUUDI, 2013).

Fase Metanogênica: a fase final do processo transforma o que foi gerado na fase acetogênica em metano e dióxido de carbono. As bactérias metanogênicas se dividem em dois grupos: as bactérias metanogênicas acetoclásticas, que degradam o ácido acético, e as bactérias metanogênicas hidrogenotróficas, que consomem o hidrogênio (ONUUDI, 2013).

No fim do processo de digestão anaeróbica, as sulfobactérias produzem ácido sulfídrico. É extremamente importante o controle da quantidade de sulfatos no processo, não apenas por seu potencial corrosivo, que afeta o aproveitamento energético do biogás, mas também por que essas bactérias competem com as outras bactérias presentes no processo, podendo alterar a quantidade de metano produzido (ONUUDI, 2013).

2.4.3 MODELOS DE DIGESTORES UTILIZADOS NO MEIO RURAL DE PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO

De acordo com ONUDI (2013), em países em desenvolvimento, como o Brasil, a digestão anaeróbica se dá através de dois tipos de tecnologias, que variam em função de seu grau de desenvolvimento.

As chamadas tecnologias básicas são utilizadas por agricultores de áreas marginais, produtores médios em países cujos setores rurais são de baixa renda e com difícil acesso a fontes convencionais de energia. O objetivo desta tecnologia é fornecer energia, saúde humana e fertilizantes para as propriedades rurais, através de digestores de custos mínimos e fácil manutenção. Entretanto, possui pouca eficiência e baixos níveis de produção de energia (ONUDI, 2013).

Já as tecnologias chamadas mais avançadas estão presentes no setor agroindustrial e agrícola de renda média-alta. Elas buscam gerar energia e resolver problemas de contaminação e apresentam maior eficiência. Essas tecnologias possuem maior custo inicial e maior complexidade de manutenção e gerenciamento (ONUDI, 2013).

Segundo ONUDI (2013), alguns dos impactos que essas tecnologias produzem no meio rural são:

- Aumento da sustentabilidade ambiental da produção agrícola e pecuária.
- Intensificação da economia regional.
- Redução dos gastos por consumo de energia.
- Preservação ambiental através da redução das emissões de gases de efeito estufa.
- Criação de novas fontes de renda com a venda de biofertilizantes e créditos de carbono.

O digestor é um tanque impermeabilizado com lona apropriada, onde os dejetos ficam alojados permitindo que a digestão anaeróbica ocorra de forma rotativa (ZANIN et al., 2010).

Os digestores de pequena escala mais utilizados em países em desenvolvimento são: o digestor de cúpula fixa, também chamado de "modelo chinês", desenvolvido em 1936; o digestor de tambor flutuante, conhecido como "modelo indiano", que teve origem em 1956; e finalmente o digestor tubular de polietileno, chamados também de "modelo taiwanês", desenvolvido com o intuito de reduzir os custos iniciais dos biodigestores (ONUDI, 2013).

O modelo chinês e o indiano são bem similares, distinguem-se apenas pelo fato de que no modelo indiano, o tambor é móvel, o que permite maior pressão quando o biogás é produzido. As Figuras 3, 4 e 5 representam os modelos de digestores citados anteriormente.

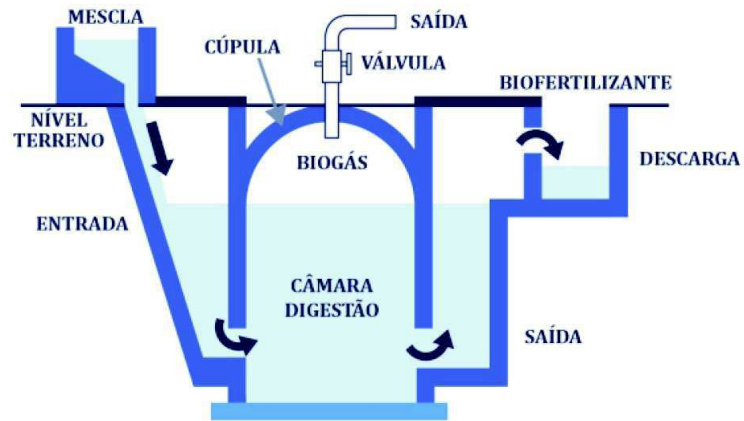


Figura 3: Digestor anaeróbico de cúpula fixa

Fonte: (ONUDI, 2013)

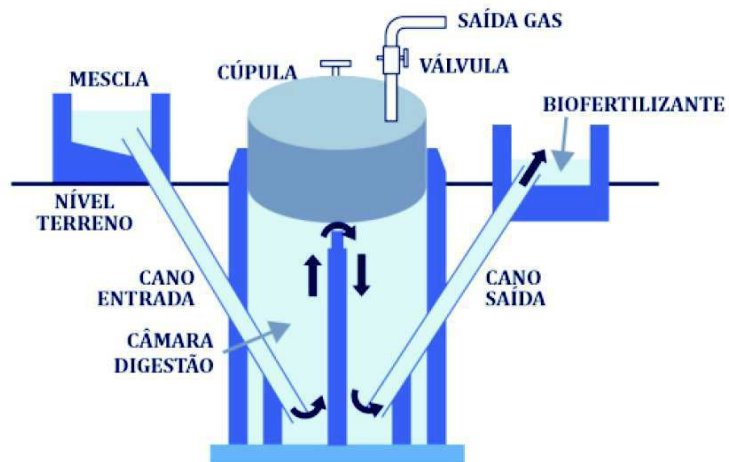


Figura 4: Digestor anaeróbico de tambor flutuante

Fonte: (ONUDI, 2013)

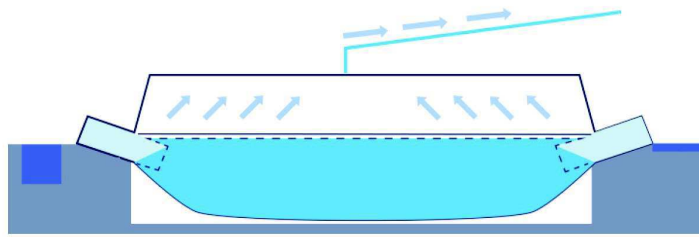


Figura 5: Digestor Tubular de Polietileno

Fonte: (ONU DI, 2013)

Dentro das tecnologias avançadas, os tipos de digestores são divididos de acordo com o tipo de biomassa, sendo eles os de biomassa aderida e os de biomassa suspensa.

Os de biomassa suspensa são: digestores de mescla completa, de fluxo pistão, e os de contato. Já os de biomassa aderida são: digestor de fluxo não-orientado, digestor de leito expandido, o de leito fluidizado, o reator de UASB e o biodigestor de capa fixa (ONU DI, 2013).

Porém, apesar de todas as tecnologias apresentadas, o digestor que é mais difundido no Brasil é o Digestor modelo da Marinha, desenvolvido na década de 1970. Este é o modelo que será utilizado neste trabalho. (OLIVER et al., 2008).

O aperfeiçoamento da manta impermeável, que passou a ser produzida com Policloreto de Vinila (PVC), permitiu a redução do custo e maior facilidade de instalação quando comparado com os modelos citados anteriormente (modelo chinês e indiano). Além disso, possui maior resistência à corrosão provocada pelo sulfeto de hidrogênio e pela água, presentes na mistura gasosa (OLIVER et al., 2008) (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

Esse modelo pode ser utilizado tanto em pequenas propriedades, quanto em grandes propriedades e projetos agro-industriais. Possui vantagens devido à sua versatilidade ao uso de diferentes tipos de resíduos orgânicos e à sua grande capacidade de armazenamento, o que favorece uma maior produção de gás por massa fermentada, além da estabilidade dos dejetos, que podem ser utilizados como biofertilizantes (OLIVER et al., 2008) (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

A Figura 6 representa o digestor modelo Marinha em corte.

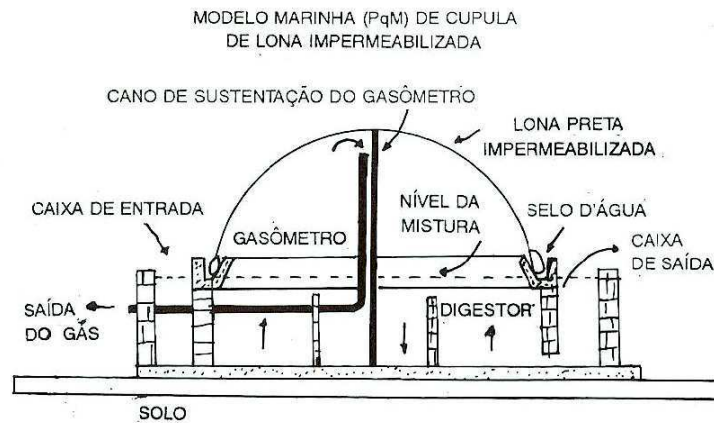


Figura 6: Digestor modelo Marinha

Fonte: (BARRERA, 2003)

Outra variação do modelo da Marinha, mais simplificado, é composto de um reservatório sem paredes divisórias, como mostra a Figura 7

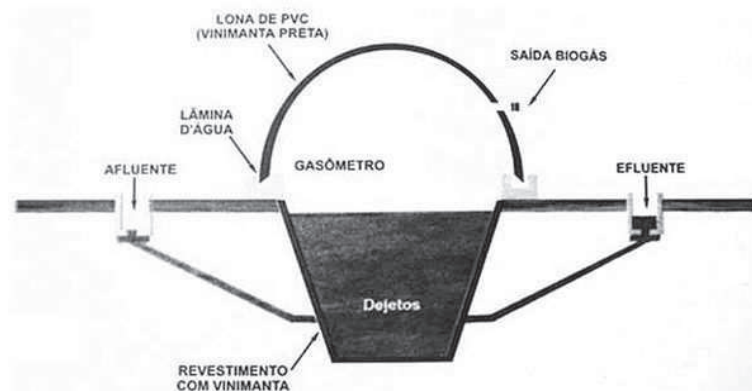


Figura 7: Digestor modelo simplificado da Marinha

Fonte: (OLIVER et al., 2008)

Quando a digestão anaeróbica é realizada em condições específicas dentro de digestores, geram-se dois produtos, um gás de alto poder calorífico, podendo ser utilizado como combustível, e um biofertilizante rico em nutrientes. Sendo assim, esse processo é uma ótima alternativa para o aproveitamento dos substratos que são comumente descartados (PECORA, 2006).

2.5 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DO BIOGÁS

O biogás está sendo cada vez mais utilizado como fonte alternativa de energia, à medida que as fontes renováveis são valorizadas diante das fontes tradicionais (petróleo, gás, carvão, entre outros). O biogás pode ser utilizado nas mesmas aplicações desenvolvidas para o gás natural. Suas primeiras aplicações energéticas foram em países como a China e a Índia, que as utilizavam em cozinhas familiares e lâmpadas (ONUDI, 2013).

De acordo com Bley Júnior (2015) "o biogás é uma fonte estratégica de energia ligada à sustentabilidade dos próprios processos industriais, agropecuários e de saneamento que o produzem".

O potencial energético do biogás está diretamente ligado com seu poder calorífico, que é definido pela quantidade de energia liberada na oxidação de um combustível em relação a um determinado volume (COLDEBELLA et al., 2008).

O gás metano (CH_4) é um dos principais gases na composição do biogás. Este gás influencia o poder calorífico do biogás, que situa-se na faixa de 5.000 a 7.000 kcal/m^3 e pode chegar a 12.000 kcal/m^3 , quando livre de gás carbônico na mistura (o que equivale a aproximadamente 60% do poder calorífico do gás natural). Assim, é possível gerar energia através dos resíduos animais, agregando valor à propriedade e diminuindo a exposição dos excrementos na natureza (BATISTA, 1980) (CERVI et al., 2010).

A Tabela 5 apresenta uma comparação em termos de potencial energético do m^3 do biogás em relação a outros combustíveis.

Tabela 5: Equivalentes energéticos por metro cúbico de biogás

Combustível	Quantidades equivalentes
Gasolina	0,613 litros
Querosene	0,579 litros
Diesel	0,553 litros
GLP	0,454 kg
Álcool	0,790 litros
Carvão Mineral	0,735 kg
Lenha	1,538 kg
Eletricidade	1,428 kWh

Fonte: Adaptado de COLDEBELLA et al. (2008)

O biogás pode ser aproveitado pelo setor agropecuário para diversas aplicações, como por exemplo geração de energia elétrica, aquecimento, iluminação, entre outros. Pode também ser utilizado um sistema de cogeração que, diferente da geração convencional de eletricidade, aproveita o processo de diferentes formas. Uma forma de aproveitamento é do calor gerado pela potência mecânica do motor, que pode ser utilizado para aquecimento de água, aquecimento do biodigestor ou em qualquer outro uso que seja interessante para o produtor (ONUUDI, 2013).

Bley Júnior (2015) acredita que entre as fontes renováveis, a geração de energia elétrica através biogás é a que mais se assemelha à geração hidráulica, uma vez que pode ser armazenado e despachado continuamente, sem provocar problemas nas redes de distribuição. Além disso, quando combinado com as fontes de geração intermitente, solar e eólica, o biogás proporciona segurança e redução de impactos nas redes em que a energia estará conectada.

A versatilidade do biogás como combustível permite que ele seja aplicado na geração de energia térmica, elétrica e automotiva, o que assegura um amplo campo de atuação. Além de ser uma fonte renovável, agrega valor aos produtos produzidos com sua energia (BLEY JÚNIOR, 2015).

A normatização e regulamentação de fontes como biogás, lenha, biodiesel e as algas, são muito importantes para o agronegócio, uma vez que essas fontes são capazes de movimentar praticamente todas as fases de produção desse setor. Nesse contexto, a geração distribuída se torna um mecanismo importante para o desenvolvimento dos agroenergéticos (BLEY JÚNIOR, 2015).

Além disso, a produção de energia no local de consumo é considerada energeticamente eficiente, uma vez que diminui a dependência de fontes externas e reduz as perdas geradas pela transmissão da energia (BLEY JÚNIOR, 2015).

2.5.1 TECNOLOGIAS UTILIZADAS PARA CONVERSÃO DO BIOGÁS EM ENERGIA ELÉTRICA

Com os atuais avanços tecnológicos, a conversão energética do biogás em energia elétrica pode ser realizada de diversas formas. As tecnologias mais utilizadas são os motores de combustão interna de ciclo Otto, as microturbinas a gás e as células a combustível. Entretanto, as microturbinas apresentam um custo elevado e seu tempo de vida útil operando com biogás ainda é baixo (SOUZA et al., 2005).

2.5.1.1 MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

Os motores de combustão interna podem operar com diferentes tipos de combustíveis, tanto gasoso como líquido. Devido à sua simplicidade, alta relação potência/peso e robustez, essas máquinas são amplamente empregadas como elementos para geração de eletricidade contínua, de back-up ou de carga de pico e para acionamento de bombas, entre outros (SALOMON, 2007).

De acordo com Salomon (2007), os motores mais recomendados para a queima do biogás é o motor de ciclo Otto, de dois ou quatro polos, devido ao maior rendimento elétrico e menor custo quando comparado com outras tecnologias.

Estes motores são movidos a álcool, diesel ou a gasolina, mas podem ser adaptados para serem utilizados com o biogás como combustível (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

Lombard e Khairallah (2004) publicou que a eficiência do motor depende intrinsecamente do teor de metano no combustível, e quando os valores de concentração são menores que 50% a eficiência decresce drasticamente. Entretanto, as tecnologias atuais de motores de combustão interna possibilitaram se trabalhar com diferentes concentrações de metano, dióxido de carbono e ácido sulfídrico (SALOMON, 2007).

Esses motores podem ser acoplados a geradores isolados da concessionária local, de forma que trabalhem independentes da rede, ou podem ser conectados à rede, de forma a reduzir o consumo da energia proveniente da rede (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

2.5.1.2 MOTOR STIRLING

O motor Stirling é um motor parecido com as máquinas a vapor. Ele possui sistema fechado, em que a potência mecânica se desenvolve através do aproveitamento da expansão de um gás de trabalho. O motor é alternativo a pistão movido por uma fonte externa de calor (SALOMON, 2007).

De acordo com Salomon (2007), as principais vantagens deste tipo de motor são:

- Eficiência de aproximadamente 30%;
- Operação segura;
- Baixo nível de ruídos;
- Podem utilizar diferentes tipos de combustíveis.

- A possibilidade de cogeração.

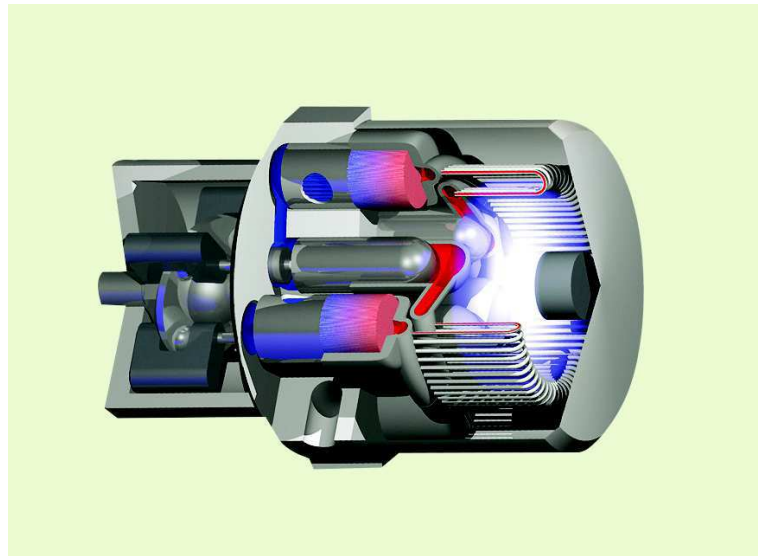


Figura 8: Exemplo de um Motor Stirling

Fonte: (QALOVIS, 2017)

2.5.1.3 MICROTURBINAS A GÁS

Esta tecnologia possui potência na faixa de 15 a 300 kW. Uma adaptação precisa ser feita para que este tipo de turbina possa utilizar o biogás como combustível, além da limpeza do gás antes da queima. A adaptação necessária na microturbina é a remodelação da câmara de combustão, devido ao baixo poder calorífico do biogás.

A eficiência de uma microturbina a gás é baixo, está entre 15 e 17%, entretanto utilizando um recuperador com eficiência de aproximadamente 85%, é possível aumentar a eficiência do conjunto para próximo de 33% (WILLIS; SCOTT, 2000).

Dentre suas vantagens, Salomon (2007) cita:

- Opera adequadamente a temperaturas entre -10°C a 45°C ;
- Opera com níveis baixos de metano
- A possibilidade de cogeração.

Segundo Souza et al. (2005), as microturbinas apresentam um custo elevado e seu tempo de vida útil operando com biogás ainda é baixo. A Figura 9 mostra esta tecnologia.

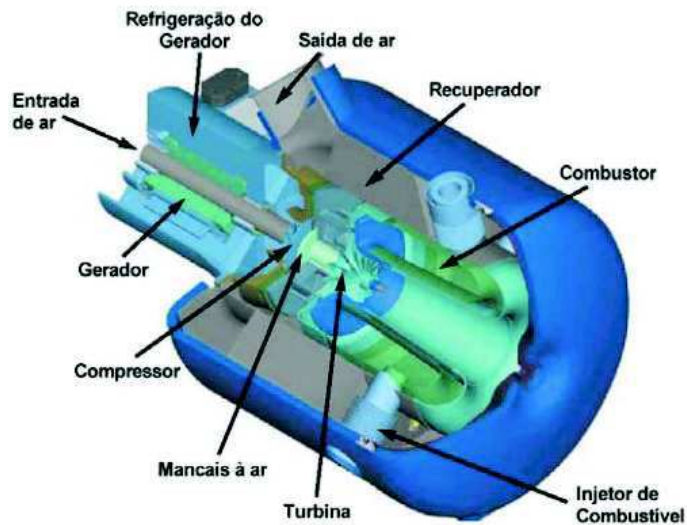


Figura 9: Microturbina à gás

Fonte: (BONA; FILHO, 2004)

2.5.1.4 CÉLULA A COMBUSTÍVEL

As células a combustível possuem o processo semelhante ao de uma bateria, pois elas convertem energia química em eletricidade permitindo altas eficiências. Analogamente a uma bateria que é constantemente recarregada em um processo envolvendo dois reagentes (hidrogênio e ar), a célula a combustível é beneficiada pela energia da reação entre o combustível e o agente oxidante (SALOMON, 2007).

ONUUDI (2013) acredita que essa tecnologia tem um futuro promissor, que caminha junto à nova economia chamada do hidrogênio, e espera-se que em alguns anos ela seja economicamente viável.

Algumas tecnologias mais avançadas vem sendo avaliadas para a conversão do biogás em eletricidade. A aplicação energética pretendida deve ser estudada, fazendo uma análise de custos e da composição do biogás (SALOMON, 2007).

A Figura 10 apresenta o diagrama dos principais tipos de células a combustível.

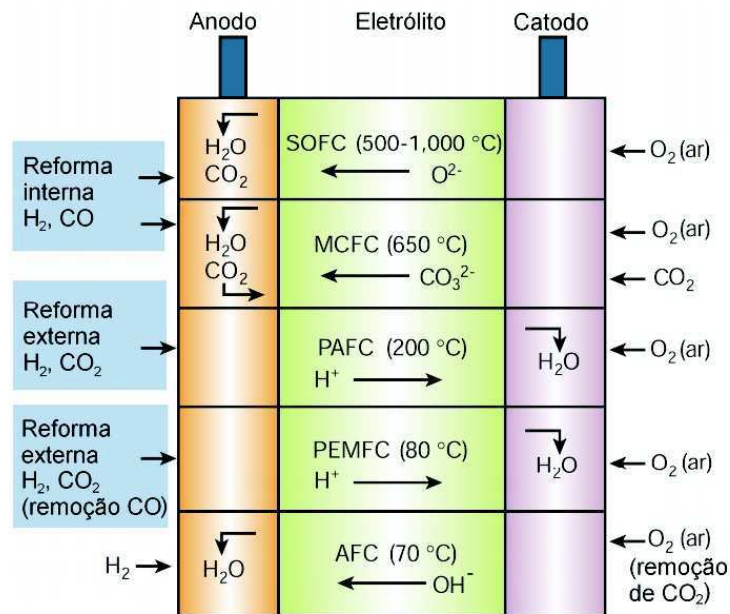


Figura 10: Diagrama dos principais tipos de células a combustível

Fonte: (STEELE; HEINZEL, 2001) apud (SPRENGER, 2009)

2.5.2 O CENÁRIO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DO BIOGÁS NO BRASIL

No Brasil, as fontes alternativas de energia tiveram um crescimento significativo a partir de 2002, com a criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), o que favoreceu maiores investimentos com a realização de leilões de energia (BLEY JÚNIOR, 2015).

Nesse mesmo ano, o estado de São Paulo inaugurou a maior usina de energia a partir de biogás do mundo, a Usina Termelétrica Aterro Bandeirantes, que possui capacidade de gerar 20MW médio de energia até 2018 (BLEY JÚNIOR, 2015).

Em 2013, foi instalado no Parque Tecnológico Itaipu, o Centro Internacional de Energias Renováveis - Biogás, chamado de CIBiogás-PR, que promove estudos sobre o biogás, capacitação, consultoria, entre outros (BLEY JÚNIOR, 2015).

No ano de 2014, alguns projetos foram iniciados e hoje são referências nacionais, como por exemplo a GEO Energética, que em parceria com usina sucroalcooleira Coopcana, produz 4 MW de energia, que é despachada para a COPEL (BLEY JÚNIOR, 2015).

A perspectiva para 2020 é que 8,8 milhões de brasileiros sejam atendidos com eletricidade provinda do biogás (BLEY JÚNIOR, 2015).

3 GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DO TRATAMENTO DE RESÍDUOS DE OVINOS

O presente trabalho fará uma análise do potencial da geração de energia elétrica através do tratamento anaeróbico de resíduos ovinos, visando o atendimento da demanda necessária e a redução de emissão de gases de efeito estufa. Serão consideradas produções de até 300 ovinos, em cenários que variam em acréscimos de 20 ovinos. Em seguida, um estudo de caso de uma propriedade na região metropolitana de Curitiba/PR será apresentado, com base nos dados da própria propriedade, utilizando o método apresentado como forma de aplicação.

3.1 DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR

Hoje no mercado é possível encontrar diversas tecnologias para o tratamento de resíduos. Para determinar qual é a melhor opção, deve-se considerar primeiramente o tipo de resíduo que será utilizado no sistema. Além disso, outros critérios devem ser levados em consideração na hora de definir a tecnologia mais adequada, tais como o tipo de alimentação (contínua, batelada, entre outros), número de fases do processo e temperatura.

O biodigestor modelo Canadense é também chamado de lagoa anaeróbica coberta e de modelo da marinha foi escolhido para este estudo, por ser altamente difundido para o manejo de resíduos agropecuários no Brasil (HENN, 2005), ter apresentado bons resultados quando utilizado dejetos ovinos (QUADROS et al., 2010) (QUADROS et al., 2015), possuir baixo custo de implantação, operação e manutenção (GIZ, 2015). Além disso, para climas tropicais, ele é considerado ideal para a digestão anaeróbica (JENDE et al., 2015).

Este biodigestor foi desenvolvido pela Marinha Brasileira, como apresentado no capítulo 2 e é caracterizado pela cobertura de armazenagem do biogás, comumente produzida com lona de PVC ou PEAD (OLIVEIRA, 2004).

A literatura mostra que para o dimensionamento de projetos de digestor tipo lagoa coberta alimentados com resíduos ovinos, no formato retangular, as proporções de comprimento/largura seguem o padrão de 2:1 e 3:1 e possuem profundidade de pelo menos

1 metro (QUADROS et al., 2010) (QUADROS et al., 2015).

3.2 CÁLCULO DO VOLUME DO BIODIGESTOR E BIOGÁS PRODUZIDO

O Volume de biogás produzido em um biodigestor varia de acordo com a quantidade de biomassa que é colocada, com o Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) e a temperatura interna do biodigestor.

O Tempo de Retenção Hidráulica é fundamental para o dimensionamento do biodigestor, pois ele representa o tempo, em dias, que o resíduo deverá permanecer no biodigestor (ONUUDI, 2009).

o Tempo de Retenção Hidráulica utilizado para biodigestão em ovinos varia entre 28 dias e 56 dias, conforme a bibliografia consultada (COSTA, 2014) (AL-MARSI, 2001) (JAIN et al., 1981) e outros. Para o presente trabalho o Tempo de Retenção Hidráulica que adotado é de 45 dias.

O volume médio de dejetos produzidos por ovinos pode ser estimado através da análise feita por Barker et al. (2002), que determinou a densidade dos dejetos de ovinos igual à $62,3 \text{ lb/ft}^3$, equivalente à $997,95 \text{ kg/m}^3$. O volume de dejetos por kg é deduzido através do inverso da densidade, resultando no valor de $0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$. A produção de dejetos de ovinos apresentada no Capítulo 2 varia de 1,5-5kg, e neste estudo o valor adotado será de 4 kg. Assim, o volume diário de dejetos por animal é igual à $0,004 \text{ m}^3$.

O volume do biodigestor será determinado à partir da equação 1 (MARTINS; OLIVEIRA, 2011):

$$V_{Biomassa} = N_{Ovinos} * V_{Dejetos} * TRH \quad (1)$$

O cálculo da produção de biogás é dado pela equação 2

$$P_{Biogas} = V_{Biomassa} * K \quad (2)$$

onde:

- $V_{Biomassa}$ - Volume de Biomassa no Biodigestor (m^3);
- N_{Ovinos} - Número de ovinos necessário para produção de dejetos;
- $V_{Dejetos}$ - Volume médio de dejetos produzido por animal (m^3/dia);

- TRH - Tempo de Retenção Hidráulica (dias);
- P_{Biogas} - Quantidade de biogás produzida por dia (m^3);
- K - Índice de eficiência de produção de biogás no biodigestor, m^3 biogás/ m^3 biomassa.

O índice de eficiência pode variar entre 0,5 - 0,7 m^3 biogás/ m^3 biomassa (COLATTO; LANGER, 2011). O valor de k adotado neste estudo foi de 0,6 m^3 biogás/ m^3 biomassa.

A Tabela 6 apresenta os resultados da produção de Biogás e volume do biodigestor para todos os cenários estudados.

Tabela 6: Produção de Biogás

N_{Ovinos}	$V_{Dejetos}$ ($m^3/dia.animal$)	$V_{Biomassa}$ (m^3)	$V_{Dejetos}$ Total (m^3)	TRH (dias)	K	P_{Biogas} (m^3)
20	0,004	3,6	0,08	45	0,6	2,16
40	0,004	7,2	0,16	45	0,6	4,32
60	0,004	10,8	0,24	45	0,6	6,48
80	0,004	14,4	0,32	45	0,6	8,64
100	0,004	18,0	0,40	45	0,6	10,80
120	0,004	21,6	0,48	45	0,6	12,96
140	0,004	25,2	0,56	45	0,6	15,12
160	0,004	28,8	0,64	45	0,6	17,28
180	0,004	32,4	0,72	45	0,6	19,44
200	0,004	36,0	0,80	45	0,6	21,60
220	0,004	39,6	0,88	45	0,6	23,76
240	0,004	43,2	0,96	45	0,6	25,92
260	0,004	46,8	1,04	45	0,6	28,08
280	0,004	50,4	1,12	45	0,6	30,24
300	0,004	54,0	1,20	45	0,6	32,40

Fonte: Autoria própria

3.3 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA À BIOGÁS

Hoje no mercado existem diversas tecnologias para o aproveitamento do biogás como fonte de energia. O Brasil possui uma gama de fabricantes de equipamentos operados à biogás, a tabela 7 apresenta alguns desses geradores disponíveis hoje no mercado.

**Tabela 7: Geradores à Biogás
FOCKINK**

kVA	kW	FP	Consumo (m³/h)	Capacidade de Geração (kWh/m³)
20	16	0,8	11	1,45

B4T-5000 Bio - BRANCO

kVA	kW	FP	Consumo (m³/h)	Capacidade de Geração (kWh/m³)
3,6	2,88	0,8	2	1,44

Fonte: Autoria própria

As horas de funcionamento do gerador podem ser calculadas através da divisão do volume de biogás disponível (P_{bio}) pelo consumo do gerador.

As tabelas 8 e 9 apresentam os geradores escolhidos, bem como a geração diária e anual.

Tabela 8: Gerador FOCKINK - 20kVA

N_{Ovinos}	P_{bio} (m^3)	$Consumo$ (m^3/h)	T_{Ger} (horas)	G_{dia} (kWh/dia)	G_{ano} (kWh/ano)
20	2,16	11	0,20	3,14	1.146,76
40	4,32	11	0,39	6,28	2.293,53
60	6,48	11	0,59	9,43	3.440,29
80	8,64	11	0,79	12,57	4.587,05
100	10,80	11	0,98	15,71	5.733,82
120	12,96	11	1,18	18,85	6.880,58
140	15,12	11	1,37	21,99	8.027,34
160	17,28	11	1,57	25,13	9.174,11
180	19,44	11	1,77	28,28	10.320,87
200	21,60	11	1,96	31,42	11.467,63
220	23,76	11	2,16	34,56	12.614,40
240	25,92	11	2,36	37,70	13.761,16
260	28,08	11	2,55	40,84	14.907,92
280	30,24	11	2,75	43,99	16.054,69
300	32,40	11	2,95	47,13	17.201,45

Fonte: Autoria própria

Tabela 9: GERADOR B4T-5000 Bio - BRANCO

N_{Ovinos}	P_{bio} (m^3)	Consumo (m^3/h)	T_{Ger} (horas)	G_{dia} (kWh/dia)	G_{ano} (kWh/ano)
20	2,16	2	1,08	3,11	1.135,30
40	4,32	2	2,16	6,22	2.270,59
60	6,48	2	3,24	9,33	3.405,89
80	8,64	2	4,32	12,44	4.541,18
100	10,80	2	5,40	15,55	5.676,48
120	12,96	2	6,48	18,66	6.811,78
140	15,12	2	7,56	21,77	7.947,07
160	17,28	2	8,64	24,88	9.082,37
180	19,44	2	9,72	27,99	10.217,66
200	21,60	2	10,8	31,10	11.352,96
220	23,76	2	11,88	34,21	12.488,26
240	25,92	2	12,96	37,32	13.623,55
260	28,08	2	14,04	40,43	14.758,85
280	30,24	2	15,12	43,54	15.894,14
300	32,40	2	16,20	46,56	17.029,44

Fonte: Autoria própria

3.4 INVESTIMENTO INICIAL DO PROJETO

A implantação do sistema de geração de energia através de dejetos ovinos exige a construção de uma estrutura. Inicialmente é preciso determinar os equipamentos e as instalações do projeto.

No presente estudo, os custos associados serão divididos de acordo com o escopo das obras, são eles as estruturas de elétrica e estruturas do biodigestor

3.4.1 CUSTOS DA ESTRUTURA ELÉTRICA

O sistema de geração é composto por:

- Grupo motor gerador (GMG);
- Painel elétrico e equipamentos;

- Filtro para ácido sulfídrico (H₂S);

O gerador da marca FOCKINK de 20kVA é síncrono, *brushless*, com quatro polos, ligação em estrela com neutro acessível e autoventilado. Com frequência de 60Hz, rotação nominal de 1800 rpm e fator de potência igual a 0,8 indutivo. Para garantir a precisão da tensão de saída quando há variação de carga, será utilizado um regulador de tensão eletrônico. Segundo os fornecedores consultados, o preço médio deste gerador é R\$25.000,00. Para este modelo, precisamos considerar a adição do custo do filtro para ácido sulfídrico de R\$8.500,00.

O gerador da marca BRANCO é monocilíndricos de 4 tempos, com potência nominal, 3,6 kVA. Com rotação de 3600 rpm, frequência de 60Hz, possui sistema de filtro integrado que permite a conexão do gerador diretamente na lona do biodigestor. Segundo os fornecedores consultados, o preço médio desse gerador é de R\$7.689,00. Este gerador não é de regime contínuo, sua recomendação de trabalho é de 16 a 18 horas por dia.

3.4.2 CUSTOS DA ESTRUTURA DO BIODIGESTOR

O custo da estrutura do biodigestor está relacionado aos seguintes componentes:

- Terraplanagem e escavação;
- Manta de PVC;
- Acessórios para fixação;
- Tubos e conexões;
- Parte civil e bomba hidráulica;
- Mão de obra;

O orçamento para a construção do biodigestor será baseado no cálculo feito por Martins e Oliveira (2011), em que eles orçaram o custo para quatro volumes diferentes de biodigestores, como mostrado na Tabela 10.

Tabela 10: Orçamento de Biodigestores: Ano base 2011

Vol. Biod. (m^3)	Escavação (R\$)	Parte Civil (R\$)	Tubos e Conexões (R\$)	Manta (R\$)	Acess. E Fixação (R\$)	Mão de Obra (R\$)	Total (R\$)
625	5.181,00	11.398,00	1.428,00	24.956,00	5.008,00	4.030,00	52.000,00
875	5.619,00	11.665,00	1.327,00	28.425,00	5.319,00	4.645,00	57.000,00
1125	7.059,00	13.778,00	1.753,00	35.556,00	6.206,00	5.648,00	70.000,00
1375	8.686,00	15.865,00	1.783,00	42.327,00	7.527,00	6.312,00	82.500,00

Fonte: Adaptado de (MARTINS; OLIVEIRA, 2011)

Martins e Oliveira (2011) utilizaram os valores de base do ano de 2011. Para maior precisão, utilizando do método adotado no estudo feito por Leite e Ferraz (2016), esses valores serão atualizados para o ano base de 2017 de acordo com o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), que contempla a inflação acumulada no período demandado, que é calculado periodicamente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Para determinar o valor atual, foi utilizada a calculadora do cidadão, disponível no website do Banco Central do Brasil. A Tabela 11 contempla os preços atualizados para o ano de 2017.

Tabela 11: Orçamento de Biodigestores: Ano base 2017

Vol. Biod. (m^3)	Escavação (R\$)	Parte Civil (R\$)	Tubos e Conexões (R\$)	Manta (R\$)	Acess. E Fixação (R\$)	Mão de Obra (R\$)	Total (R\$)
625	7.733,02	17.012,35	2.131,39	37.248,65	7.474,81	6.015,07	77.613,80
875	8.386,77	17.410,87	1.980,64	42.426,39	7.939,00	6.933,00	85.076,67
1125	10.536,07	20.564,67	2.616,48	53.069,93	9.262,91	8.430,05	104.480,12
1375	12.964,49	23.679,67	2.661,26	63.176,14	11.234,60	9.421,12	123.137,28

Fonte: Autoria própria

Para o presente trabalho, foi adotada uma metodologia que permitiu estimar as despesas totais para diferentes volumes de biodigestor. Para cada item do projeto, será calculado seu valor médio em Reais por m^3 e então, multiplicado por cada volume de biodigestor em estudo.

A Tabela 12 ilustra os valores médios em reais de cada item por m^3 . Resultando no valor total de um biodigestor em função de seu volume.

Tabela 12: Preço Médio por m³ de Cada Item

Vol. Biod. (m ³)	Escavação (R\$)	Parte Civil (R\$)	Tubos e Conexões (R\$)	Manta de PVC (R\$)	Acess. E Fixação (R\$)	Mão de Obra (R\$)
625	12,38	27,21	3,41	59,59	11,95	9,62
875	9,58	19,89	2,26	48,48	9,07	7,92
1125	9,36	18,27	2,32	47,17	8,23	7,49
1375	9,42	17,22	1,93	45,94	8,17	6,85
Custo Médio (R\$/m ³)	10,18	20,65	2,48	50,30	9,35	7,97
Preço Médio Total:					100,96	

Fonte: Autoria própria

Com a média de custos definidas, o valor total referente à cada cenário pode ser obtido através da seguinte equação:

$$C_{Total} = V_{Biomassa} * 100,96 \quad (3)$$

A Tabela 13 apresenta os custos totais dos parâmetros do biodigestor para cada cenário de interesse.

Tabela 13: Custos dos Parâmetros do Biodigestor Para Cada Cenário

N_{Ovinos}	$V_{Biomassa}$ (m^3)	Custos Totais (R\$)
20	3,6	363,46
40	7,2	726,91
60	10,8	1.090,37
80	14,4	1.453,82
100	18,0	1.817,28
120	21,6	2.180,74
140	25,2	2.544,19
160	28,8	2.907,65
180	32,4	3.271,10
200	36,0	3.634,56
220	39,6	3.998,02
240	43,2	4.361,47
260	46,8	4.724,93
280	50,4	5.088,38
300	54,0	5.451,84

Fonte: Autoria própria

3.5 CÁLCULO DOS CUSTOS DE INVESTIMENTO

A sigla CAPEX, vem da expressão em inglês *Capital Expenditure*, (em português, capital de investimento), refere-se ao investimento total de aquisição e implantação de um sistema (BERNS et al., 2015).

Os Geradores considerados para o cálculo do CAPEX são o modelo B4T-5000 Bio da marca BRANCO de 3,6 kVA e o da marca FOCKINK de 20 kVA.

O CAPEX para cada cenário é apresentado na Tabela 14. Ele abrange os custos da estrutura do gerador e do biodigestor.

Tabela 14: CAPEX para cada cenário em estudo

N_{Ovinos}	CAPEX Gerador	CAPEX Gerador
	20 kVA (R\$)	3,6 kVA (R\$)
20	33.863,46	8.051,92
40	34.226,91	8.415,38
60	34.590,37	8.778,83
80	34.953,82	9.142,29
100	35.317,28	9.505,75
120	35.680,74	9.869,20
140	36.044,19	10.232,66
160	36.407,65	10.596,11
180	36.771,10	10.959,57
200	37.134,56	11.323,03
220	37.498,02	11.686,48
240	37.861,47	12.049,94
260	38.224,93	12.413,39
280	38.588,38	12.776,85
300	38.951,84	13.140,31

Fonte: Autoria própria

3.6 CÁLCULO DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO

A sigla OPEX, derivada da expressão em inglês *Operational Expenditure*, ou capital de operação em português, refere-se aos custos de operação e manutenção de uma empresa, produto ou sistema. Ele considera gastos com manutenção preventiva e corretiva, substituição de equipamentos, a fim de garantir a vida útil do empreendimento (BERNS et al., 2015).

No estudo feito por Martins e Oliveira (2011), o custo de manutenção anual do sistema de geração é de 6,9% do valor de aquisição. já para o biodigestor, esse custo é estimado em 2,5%.

Os custos de OPEX para os cenários estudados são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15: OPEX para cada cenário

N_{Ovinos}	OPEX Gerador	OPEX Gerador
	20 kVA (R\$)	3,6 kVA (R\$)
20	R\$ 1.734,09	R\$ 539,59
40	R\$ 1.743,17	R\$ 548,68
60	R\$ 1.752,26	R\$ 557,76
80	R\$ 1.761,35	R\$ 566,85
100	R\$ 1.770,43	R\$ 575,94
120	R\$ 1.779,52	R\$ 585,02
140	R\$ 1.788,60	R\$ 594,11
160	R\$ 1.797,69	R\$ 603,20
180	R\$ 1.806,78	R\$ 612,28
200	R\$ 1.815,86	R\$ 621,37
220	R\$ 1.824,95	R\$ 630,45
240	R\$ 1.834,04	R\$ 639,54
260	R\$ 1.843,12	R\$ 648,63
280	R\$ 1.852,21	R\$ 657,71
300	R\$ 1.861,30	R\$ 666,80

Fonte: Autoria própria

3.7 CÁLCULO DE TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO

O maior incentivo que levam pessoas a realizarem investimentos é a geração de riqueza, visando um retorno lucrativo e sustentável.

De acordo com Marquezan (2006), para que um investimento agregue valor, seu retorno de investimento deverá ser superior ao custo dos capitais injetados, tornando os valores líquidos dos resultados positivos, gerando riqueza para o investidor e ao próprio investimento.

A análise do retorno do investimento pode ser realizada seguindo diversos parâmetros, resultando em vários indicadores que avaliam a viabilidade de cada investimento. Dois exemplos de indicadores são o Valor Presente Líquido (VPL) e o *payback*. O *payback* representa o tempo necessário para que haja a recuperação do investimento inicial e em relação ao método do Valor Presente Líquido, ele é vantajoso justamente por considerar o prazo *depayback* (MARQUEZAN, 2006).

Existem dois métodos de *payback*; o *payback* simples calcula o retorno do

investimento desconsiderando a desvalorização do capital ao longo do tempo. Já o *payback* descontado considera a desvalorização do capital, aplicando-se a taxa de juros adequada. Para o cálculo do *payback* descontado, as variáveis necessárias são o valor inicial do investimento, o valor dos investimentos nos anos seguintes e os lucros anuais obtidos (PIERO; COLOMBINI, 2004).

A análise do *payback* em geração de energia através do biogás deve ser feita conhecendo alguns indicadores como: valor do quilowatt-hora (kWh) vigente no período analisado, despesa total com energia elétrica, a taxa referencial do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (SELIC) e os valores de CAPEX e OPEX do cenário que se enquadra a propriedade.

Ainda que a propriedade seja autossuficiente em energia elétrica, o proprietário não fica isento de pagar pelo custo de disponibilidade cobrada mensalmente pela concessionária. Essa taxa é cobrada pelas concessionárias por disponibilizar a energia no ponto de consumo, que varia de acordo com o tipo de alimentação que a propriedade possui; monofásica, bifásica ou trifásica. A ANEEL é responsável pela definição do custo de disponibilidade, e através da Regulação Normativa 414 de 2010, ficou estabelecido que o custo de disponibilidade é o valor em moeda corrente equivalente a 30 kWh para sistemas monofásicos a 2 condutores ou bifásicos a 2 condutores, 50 kWh para sistemas bifásicos a 3 condutores e 100 kWh para sistemas trifásicos (ANEEL, 2010).

Para determinar o retorno anual do investimento através do método de *payback*, é preciso descontar o valor gasto com a taxa de disponibilidade mensal do valor gasto com energia elétrica durante o ano.

A princípio, é necessário calcular o fluxo de caixa, que é a diferença entre os retornos e os investimentos de cada ano. Para analisar a desvalorização do capital, o fluxo de caixa é atualizado para o Valor Presente (VP) através da aplicação de juros composto. O cálculo do Valor Presente Líquido é realizado somando o VPL do ano n com o VP do ano $n+1$. Finalmente, o prazo de *payback* descontado é analisado no ano em que o VPL atingir um valor positivo. A equação para o cálculo do VPL é ilustrada a seguir (MARQUEZAN, 2006).

$$VPL = -CI + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (4)$$

onde:

- CI é o investimento inicial do projeto;

- FC é o fluxo de caixa no período t ;
- t é o período genérico, percorrendo todo o fluxo de caixa;
- i é a taxa de desconto;
- VPL é o Valor Presente Líquido descontado a uma taxa i ;
- e n é o número de períodos do fluxo;

3.8 ESTUDO DE CASO

Com o intuito de validar os dados levantados para o presente estudo, esta seção apresenta a análise de viabilidade econômica do investimento de um sistema de geração de energia elétrica a partir do biogás obtido através dos dejetos ovinos para uma propriedade na região metropolitana de Curitiba no estado do Paraná. A propriedade localiza-se na cidade de Campo Largo e possui um plantel de 13 ovinos. A Figura 11 apresenta o curral onde animais ficam presos para dormir e conseqüentemente onde é feita a coleta dos resíduos.



Figura 11: Curral da Propriedade em Estudo

Fonte: Autoria própria

Atualmente o potencial de geração de biogás do plantel da propriedade é de 1,404 m³ diário, como mostra na Tabela 16.

Tabela 16: Potencial Atual de Geração de Biogás

N_{Ovinos}	$V_{Dejetos}$ ($m^3/dia.animal$)	$V_{Biomassa}$ (m^3)	$V_{Dejetos}$ (m^3)	Total	P_{Biogas} (m^3)
13	0,004	2,34	0,052		1,404

Fonte: Autoria própria

3.8.1 POTENCIAL DE GERAÇÃO

O presente potencial de geração de energia, considerando o número atual de ovinos da propriedade (13 animais), é mostrado na Tabela 17.

Tabela 17: Potencial de Geração Atual

Gerador (kVA)	N_{Ovinos}	P_{bio} (m^3)	Consumo (m^3/h)	G_{dia} (kWh/dia)	G_{ano} (kWh/ano)
3,6	13	1,404	2	2,02	737,94
20	13	1,404	11	2,04	745,40

Fonte: Autoria própria

3.8.2 CONSUMO DA PROPRIEDADE

Atualmente os dejetos são utilizados como fertilizante na horta da propriedade, entretanto o volume de resíduo gerado não é completamente utilizado e acaba sendo doado para as propriedades vizinhas. Em vista do atendimento da demanda de energia elétrica para esta propriedade, será analisado seu gasto mensal de energia, para assim determinar quantos ovinos seriam necessários para suprir as necessidades da mesma. A Tabela 18 apresenta os valores gastos com energia elétrica de março de 2016 a fevereiro de 2017.

Tabela 18: Valores gastos com energia elétrica

Mês/Ano	Valor (R\$)	Gasto Mensal (kWh/mês)	Consumo médio diário (kWh/dia)
fev/17	495,21	678	24,21
jan/17	457,97	627	22,39
dez/16	536,85	735	26,25
nov/16	462,35	633	22,61
out/16	482,07	660	23,57
set/16	580,68	795	28,39
ago/16	444,82	609	21,75
jul/16	493,03	675	24,11
jun/16	387,85	531	18,96
mai/16	460,16	630	22,50
abr/16	690,24	945	33,75
mar/16	273,90	375	13,39
Total	5.765,13	7.893	
Média	480,43	657,75	21,62

Fonte: Autoria própria

3.8.3 PROPOSIÇÃO DE UM NOVO SISTEMA

O método de cálculo apresentado neste capítulo mostra que, para atender a demanda de energia elétrica da propriedade, considerando o mês e maior consumo, que é abril de 2016, independente do gerador escolhido, são necessários 140 ovinos, como apresentado na Tabela 19

Tabela 19: Resultados obtidos para atender a demanda da propriedade

N_{Ovinos}	Gerador (kVA)	Gerador (kW)	P_{bio} (m^3)	Consumo Gerador (m^3/h)	G_{dia} (kWh/dia)	G_{ano} (kWh/ano)
140	3,6	2,88	16,2	2	21,77	7.947,072
140	20	16	16,2	11	21,99	8.027,34

Fonte: Autoria própria

O custo total de investimento do sistema (CAPEX) para atender as necessidades da propriedade, incluindo biodigestor e o gerador de 20 kVA, seria de R\$ 36.044,19 e o custo anual de manutenção (OPEX) seria de R\$ 1.788,60. Por outro lado, ao considerar o gerador

de 3,6kVA, o custo total de investimento do sistema (CAPEX) seria de R\$ 10.232,66 e o custo anual de manutenção (OPEX) seria de R\$ 594,11. Os valores de investimento para cada gerador são ilustrados na Tabela 20.

Tabela 20: CAPEX e OPEX para cada gerador

Gerador	Custo Sistema de Geração	Custo Biodigestor	CAPEX	OPEX
20 kVA	R\$ 33.500,00	R\$ 2.544,19	R\$ 36.044,19	R\$ 1.788,60
3,6 kVA	R\$ 7.688,46	R\$ 2.544,19	R\$ 10.232,66	R\$ 594,11

Fonte: Autoria própria

3.8.4 RETORNO DO CAPITAL INVESTIDO

Para analisar a viabilidade econômica do sistema proposto utilizou-se a metodologia proposta de tempo de retorno de capital, que foi apresentado neste capítulo.

Para o ano zero, foi considerado o valor do investimento de CAPEX. Da mesma maneira, para os anos seguintes, foram considerados os valores relativos ao OPEX.

O cálculo de retorno foi realizado conforme o valor da tarifa do subgrupo B Residencial Normal da Companhia Campolarguense de Energia (COCEL), definida na Resolução Homologatória N°2104 em 29/07/2016, no valor de R\$ 0,73043 e juros de 11,25% ao ano correspondente à taxa SELIC no mês de maio de 2017.

Tendo em mente que a taxa mínima de disponibilidade é de 30 kWh por mês, ao subtrair essa taxa mensal do valor anual pago pela propriedade, tem-se a economia gerada pelo sistema em um ano.

Levando em consideração que, para suprir a demanda da propriedade, os geradores de 20 kVA e 3,6kVA se manterão em atividade por 1,36 e 7,56 horas respectivamente. Para atender a demanda da propriedade, o sistema deverá obrigatoriamente estar conectado à rede e em regime de compensação. Assim, para simplificar a análise, foi considerado que a compensação de energia será de 1:1 As tabelas 21 e 22 mostram os cálculos do tempo de retorno do investimento para os sistemas de 20 e 3,6 kVA, respectivamente.

Tabela 21: Cálculo do Tempo de Retorno de Investimento para Sistema de 20 kVA

Ano	0	1	2	3	4	5
Investimento (R\$)	36.044,19	1.788,60	1.788,60	1.788,60	1.788,60	1.788,60
Retornos (R\$)		5.502,33	5.502,33	5.502,33	5.502,33	5.502,33
F. de caixa (R\$)	-36.044,19	3.713,72	3.713,72	3.713,72	3.713,72	3.713,72
V. P. (R\$)	-36.044,19	3.338,18	3.000,61	2.697,18	2.424,43	2.179,26
V.P.L (R\$)	-36.044,19	-32.706,01	-29.705,40	-27.008,22	-24.583,79	-22.404,53

Ano	6	7	8	9	10	11
Investimento (R\$)	1.788,60	1.788,60	1.788,60	1.788,60	1.788,60	1.788,60
Retornos (R\$)	5.502,33	5.502,33	5.502,33	5.502,33	5.502,33	5.502,33
F. de caixa (R\$)	3.713,72	3.713,72	3.713,72	3.713,72	3.713,72	3.713,72
V. P. (R\$)	1.958,89	1.760,80	1.582,74	1.422,69	1.278,82	1.149,50
V.P.L (R\$)	-20.445,64	-18.684,85	-17.102,11	-15.679,42	-14.400,60	-13.251,10

Ano	12	13	14	15	16	17
Investimento (R\$)	1.788,60	1.788,60	1.788,60	1.788,60	1.788,60	1.788,60
Retornos (R\$)	5.502,33	5.502,33	5.502,33	5.502,33	5.502,33	5.502,33
F. de caixa (R\$)	3.713,72	3.713,72	3.713,72	3.713,72	3.713,72	3.713,72
V. P. (R\$)	1.033,26	928,77	834,85	750,43	674,54	606,33
V.P.L (R\$)	-12.217,84	-11.289,07	-10.454,21	-9.703,78	-9.029,24	-8.422,91

Ano	18	19	20
Investimento (R\$)	1.788,60	1.788,60	1.788,60
Retornos (R\$)	5.502,33	5.502,33	5.502,33
F. de caixa (R\$)	3.713,72	3.713,72	3.713,72
V. P. (R\$)	545,02	489,90	440,36
V.P.L (R\$)	-7.877,90	-7.387,99	-6.947,63

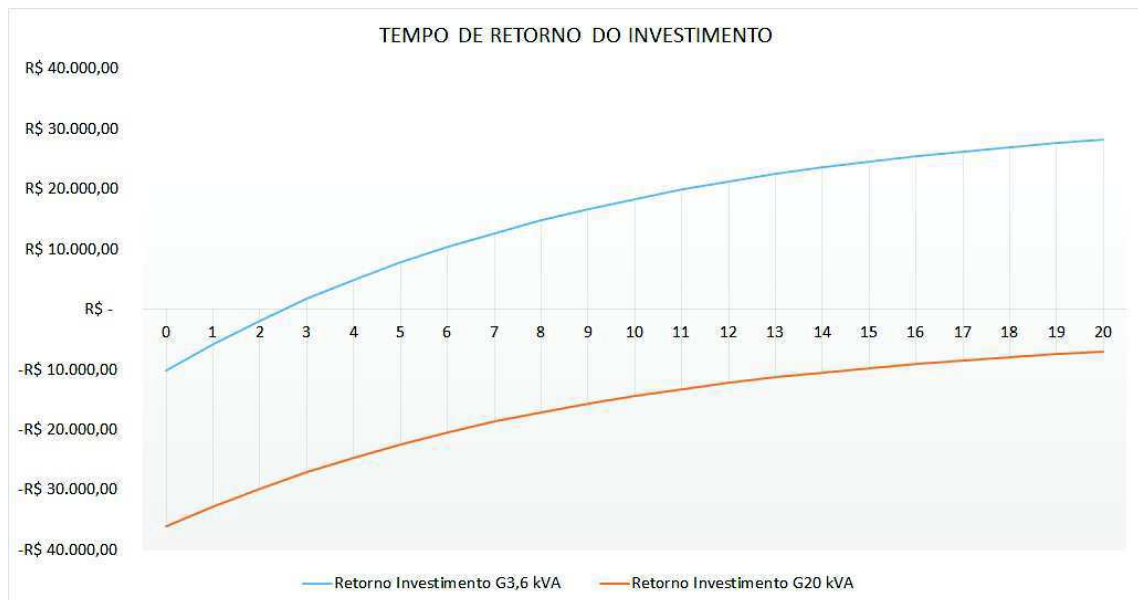
Fonte: Autoria própria

Tabela 22: Cálculo do Tempo de Retorno de Investimento para Sistema de 3,6 kVA

Ano	0	1	2	3
Investimento	R\$ 10.232,66	R\$ 594,11	R\$ 594,11	R\$ 594,11
Retornos		R\$ 5.502,17	R\$ 5.502,17	R\$ 5.502,17
F. de caixa	-R\$ 10.232,66	R\$ 4.908,06	R\$ 4.908,06	R\$ 4.908,06
V. P.	-R\$ 10.232,66	R\$ 4.411,74	R\$ 3.965,61	R\$ 3.564,59
V.P.L	-R\$ 10.232,66	-R\$ 5.820,92	-R\$ 1.855,31	R\$ 1.709,29

Fonte: Autoria própria

Os pontos de inflexão para as curvas referentes aos resultados obtidos nas Tabelas 21 e 22 são apresentados na Figura 12.

**Figura 12: Gráfico do Tempo de Retorno do Investimento**

Fonte: Autoria própria

Através dos resultados obtidos nota-se que para o sistema com o gerador de 20 kVA, em 20 anos, o retorno do investimento ainda não ocorreria. Por outro lado, para o gerador de 3,6 kVA o retorno seria em 3 anos.

4 REDUÇÃO DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

A mudança climática global é um dos problemas mais graves enfrentados pela humanidade atualmente. Este problema vem ganhando destaque devido à intensificação do efeito estufa, que se dá pelo aumento significativo da concentração de determinados gases, como o dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorcarbonos, perfluorcarbonos e hexafluoreto de enxofre na atmosfera terrestre (LOPES, 2002) (NOGUEIRA, 2007) (SABBAG, 2009).

A maior concentração desses gases na atmosfera é resultado de algumas atividades do homem, principalmente da queima de combustíveis fósseis, com destaque para o carvão mineral, derivados de petróleo e gás natural, utilizados para geração de energia elétrica e transporte (NOGUEIRA, 2007) (SABBAG, 2009).

De acordo com um relatório divulgado pelo Programa das Nações Unidas Para o Meio Ambiente (PNUMA, 2016), as emissões de gases de efeito estufa continuam aumentando, e atingiram aproximadamente o equivalente à 52,7 gigatoneladas de dióxido de carbono (GtCO_{2e}) em 2014. A fim de reduzir o impacto gerado pelo homem, foram criados projetos de redução de emissões de gases de efeito estufa.

Para se ter uma ideia da ordem de grandeza, no período da Revolução Industrial, a concentração em volume de dióxido de carbono na atmosfera era de 280 partes por milhão (ppm). Por outro lado, em 2015 a concentração média chegou à 400 partes por milhão em volume (OMM, 2016) (LOPES, 2002) (CGEE, 2008).

4.1 MERCADO DE CARBONO

Com o objetivo de garantir a redução do impacto ambiental, é necessária a adequação de efluentes líquidos aos padrões de qualidade aceitáveis e um tratamento de resíduos, o que pode caracterizar um grande desafio para diversos setores produtivos (CGEE, 2008).

À princípio, as soluções eram através de construções de depósitos ou aterros de

resíduos, geridos pelo próprio produtor. Em seguida, mediante a análise do processo produtivo e o aumento da sua eficiência, procurou-se a diminuição da utilização de matéria prima e a redução do resíduo gerado pelo processo. Por último, os resíduos gerados através dos processos começaram a ser utilizados para atender a demanda de outros processos produtivos ou setores, passando à categoria de insumos (CGEE, 2008).

Em locais de tratamento anaeróbico e aterros sanitários, com alta carga orgânica, existe um grande potencial de emissão de gases de efeito estufa (GEE), principalmente o gás metano (CGEE, 2008).

O protocolo de Quioto é um programa ambiental que foi desenvolvido com o intuito de incentivar os países a reduzirem seus impactos à natureza e aumentarem o desenvolvimento sustentável do planeta. Entrou em vigor em fevereiro de 2005 e, estabeleceu que os países signatários deveriam reduzir suas emissões de gases de efeito estufa em 5,2% abaixo dos níveis observados em 1990, durante o período de 2008 e 2012 (SANTIN, 2006).

Com o intuito de amenizar o impacto criado pelo homem, a Organização das Nações Unidas (ONU) determinou três soluções para o problema do efeito estufa e aquecimento global. A primeira delas seria a adaptação, outra solução seria através da engenharia climática e a terceira seria a redução de emissões de gases de efeito estufa (SISTER, 2009).

A primeira solução, a adaptação, é a adoção de políticas capazes de mitigar os efeitos da degradação do meio ambiente, perante à impossibilidade de se adotar políticas públicas que visem a redução dos danos causados através das atividades agressivas à natureza (SISTER, 2009).

A segunda solução, a engenharia climática, é a utilização de diversas soluções inovadoras que sejam capazes de neutralizar os efeitos das emissões dos GEE, mas que no entanto, não prejudiquem suas fontes geradoras (SISTER, 2009).

A terceira e última solução, através da redução de emissões dos GEE, são soluções que tangem o setor privado e público, que tem por objetivo reduzir a emissão dos GEE e consequentemente o aquecimento global, incluindo as fontes geradoras (SISTER, 2009).

Embora o objetivo fosse desenvolver soluções baseadas nas três formas citadas, os países membros das Nações Unidas classificaram a redução de emissões como sendo a principal solução mitigadora da emissão de gases de efeito estufa (GEE) e do aquecimento global. Essa decisão foi publicada através do Protocolo de Quioto, cujos principais mecanismos, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e as Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), conhecido também como créditos de carbono, auxiliariam como moeda de troca para

países em desenvolvimento e medidas de combate ao efeito estufa (SISTER, 2009).

A possibilidade de transformar a redução das emissões de gases de efeito estufa em projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo estimulou um aumento significativo na busca por alternativas e soluções que mitigam as emissões de gases poluentes, uma vez que países desenvolvidos poderiam investir em projetos de MDL em países em desenvolvimento, utilizando os créditos de carbono gerados para compensarem suas emissões (LOBOSCO; PENELLA, 2010).

As negociações das Reduções Certificadas de Emissões (RCEs) acontecem por meio de mecanismos centralizados com organizações de bolsas de mercadorias, similares às negociações tradicionais para commodities de energia, financeiro e agrícola. Hoje o European Union Emission Trading Scheme (EU ETS) é o maior comercializador de créditos de carbono (BASSETTO et al., 2006).

No Brasil, o mercado de carbono é regido pela Bolsa de Mercadorias e Futuros (BM&F) e as negociações acontecem por meio eletrônico, permitindo uma maior segurança e transparência no fechamento de negócios que envolvam certificados de redução de emissões, disponibilizado por projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). A BM&F é regulada pela Comissão de Valores Mobiliários e pelo Banco Central do Brasil, que oferece um ambiente organizado e justo para negociações, permitindo uma maior proteção de risco às entidades agroindustriais e financeiras, que visam acolher para registro projetos validados pela Autoridade Nacional Designada (AND) e também ideias parcialmente estruturadas que tenham por objetivo futuramente ser validados neste âmbito (MCT, 2011).

4.1.1 CRÉDITOS DE CARBONO

Os créditos de carbono são determinados através da redução da emissão de gases de efeito estufa ou através da captura dos mesmos. O cálculo é feito pela diferença entre as emissões da linha de base e a emissão decorrentes das atividades do projeto de mecanismo de desenvolvimento limpo. Este cálculo inclui possíveis perdas. Por convenção, um crédito de carbono, equivale à uma tonelada de dióxido de carbono equivalente (t_{CO_2e}) que pode ser negociado no mercado de carbono (IBRI, 2009).

Para que um projeto seja considerado de MDL, ele é avaliado e autorizado pela ONU por mediação do Conselho Executivo do MDL. Eles calculam a quantidade de toneladas de CO_2 ou outros gases sequestrados ou emissões reduzidas (MMA, 2007).

Para calcular a quantidade de carbono equivalente, é necessário saber o potencial

de dano global (Global Warming Potential - GWP) dos gases de efeito estufa, que permite determinar o quanto de efeito estufa seria gerado pela emissão da mesma quantidade de gases (IPCC - GUIDELINES FOR NATIONAL GREENHOUSE GAS INVENTORIES, 2001).

O potencial de dano global (GWP) é baseado na eficiência radiativa de cada gás e está relacionado à meia-vida dos mesmos. Ele compara o potencial que um determinado gás tem de aumentar ou reduzir o efeito estufa, em 100 anos, com o potencial da mesma quantidade de CO₂, emitida no mesmo tempo. O valor do potencial de dano da molécula de dióxido de carbono é igual a 1, já o da molécula de metano é de 21. É possível perceber que o gás metano possui potencial poluidor 21 vezes maior do que o dióxido de carbono, ou seja, emitir 1 kg de metano equivale a emitir 21 kg de CO₂ (IPCC - GUIDELINES FOR NATIONAL GREENHOUSE GAS INVENTORIES, 2001).

Por definição, 1 kg de dióxido de carbono equivale a 0,2727 kg de carbono equivalente, uma vez que considera apenas a massa molecular de 1 kg de dióxido de carbono. Já para outros gases, é utilizado a Equação 1 mostrada a seguir (KRUG, 2008).

$$\text{CarbonoEquivalente} = 0,2727 \times \text{GWP} \quad (1)$$

Assim, percebe-se que 1 kg de metano equivale à 5,7267 kg de carbono equivalente (KRUG, 2008).

4.1.2 REDUÇÃO DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA PARA O ESTUDO

O intuito desta análise será determinar o potencial da redução de emissão de gases de efeito estufa, uma vez que o sistema de tratamento dos resíduos e de geração fosse implantado.

De acordo com Colatto e Langer (2011) a concentração de metano no biogás gerado através de dejetos de ovinos é de 50% em volume. Portanto, considerando que um crédito de carbono equivalente à uma tonelada de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e), 1 kg de dióxido de carbono que equivale a 0,2727 kg de carbono equivalente e 1 kg de metano ser igual a 5,7267 kg de carbono equivalente, pode-se determinar a quantidade de créditos de carbono produzido por dia para cada produção de ovinos em estudo, como mostrado através das Tabelas 23.

Tabela 23: Créditos de Carbono para biogás com 50% de concentração de Metano

N_{Ovinos}	P_{Biogas} (m^3)	CH ₄		CO ₂		Crédito Carbono
		Massa (kg)	Carbono Eq. (kg)	Massa (kg)	Carbono Eq. (kg)	
13	1,40	0,46	2,64	1,26	0,34	0,0030
20	2,16	0,71	4,06	1,94	0,53	0,0046
40	4,32	1,42	8,11	3,89	1,06	0,0092
60	6,48	2,13	12,17	5,83	1,59	0,0138
80	8,64	2,83	16,23	7,77	2,12	0,0183
100	10,8	3,54	20,28	9,72	2,65	0,0229
120	12,96	4,25	24,34	11,66	3,18	0,0275
140	15,12	4,96	28,40	13,61	3,71	0,0321
160	17,28	5,67	32,45	15,55	4,24	0,0367
180	19,44	6,38	36,51	17,49	4,77	0,0413
200	21,6	7,08	40,56	19,44	5,30	0,0459
220	23,76	7,79	44,62	21,38	5,83	0,0505
240	25,92	8,50	48,68	23,32	6,36	0,0550
260	28,08	9,21	52,73	25,27	6,89	0,0596
280	30,24	9,92	56,79	27,21	7,42	0,0642
300	32,4	10,63	60,85	29,15	7,95	0,0688

Fonte: Autoria própria

Se todo o biogás produzido pelo plantel necessário para a propriedade (140 ovinos) for transformado em energia elétrica e o gás de exaustão do gerador for tratado e, dessa forma conseguir reduzir a emissão de metano e dióxido de carbono para atmosfera para praticamente zero, pode-se estimar que aproximadamente 11 toneladas de carbono equivalente deixariam de ser emitidas na atmosfera anualmente. Se o projeto tivesse por objetivo mitigar apenas a emissão de metano, pode-se estimar a redução de aproximadamente 10,3 toneladas de carbono equivalente que deixariam de ser emitidas na atmosfera anualmente.

Já para o plantel de ovinos atual da propriedade, 13 animais, pode-se estimar que aproximadamente 1,08 tonelada de carbono equivalente deixariam de ser emitidas na atmosfera.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 ANÁLISE DA GERAÇÃO DE ENERGIA

O presente trabalho teve como objetivo analisar cenários em plantéis de ovinos que pudessem suprir a demanda de energia elétrica de uma pequena propriedade. Os dois cenários apresentaram possibilidade de autossuficiência da propriedade, não dependendo da compra de energia proveniente da concessionária, sendo necessário apenas o método de compensação de energia e a taxa de disponibilidade ainda não é isenta. Foram analisados cenários de 20 a 300 ovinos em incrementos de 20 animais para cada tipo de sistema. No Apêndice A é possível analisar todas as informações sobre cada cenário em estudo.

Conforme pode ser analisado na Figura 13, em que é apresentado a quantidade de energia gerada (kWh), independentemente do gerador escolhido, em relação ao número de animais, o atendimento à demanda da propriedade em estudo é garantido para plantéis acima de 140 ovinos.

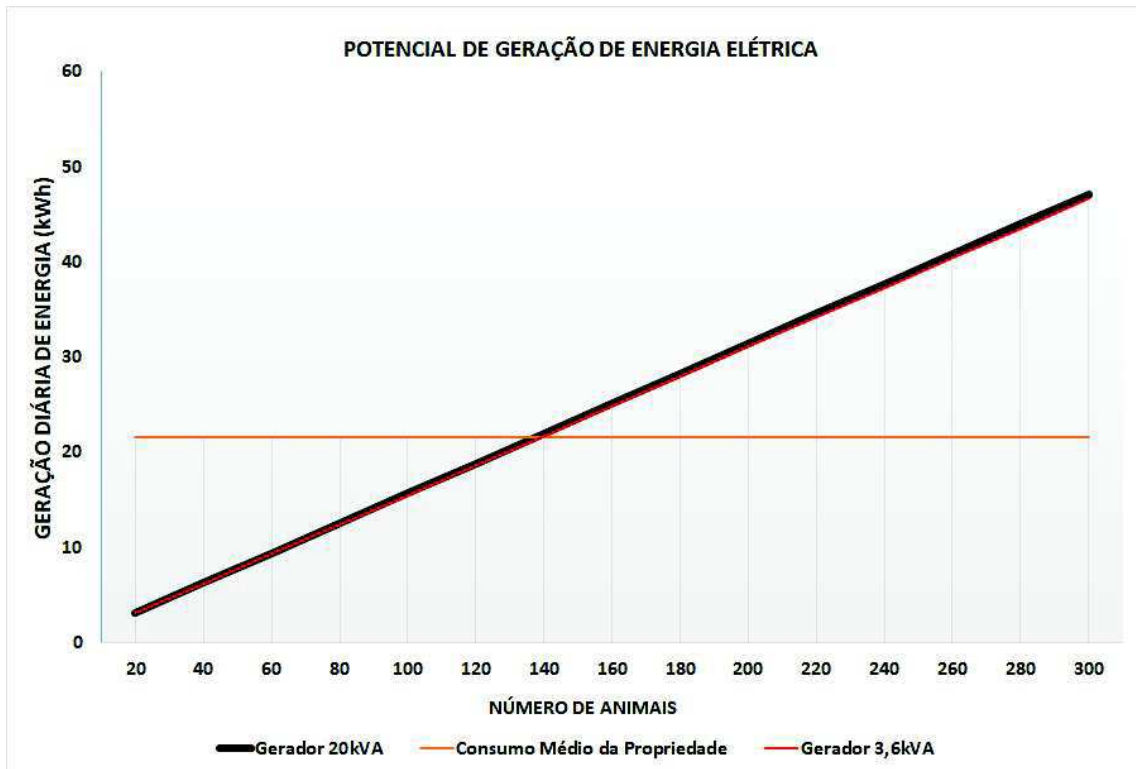


Figura 13: Gráfico do Potencial de Geração de Energia

Fonte: Autoria própria

O volume de dejetos produzidos em plantéis menores que 140 animais não fornece biogás suficiente para alimentar um gerador e atender a demanda diária da família em estudo.

A Figura 14 compara o investimento (CAPEX) para implantação do sistema com o número de ovinos necessários. Já a Figura 15 relaciona o custo de manutenção (OPEX) do sistema com o número de animais em estudo.

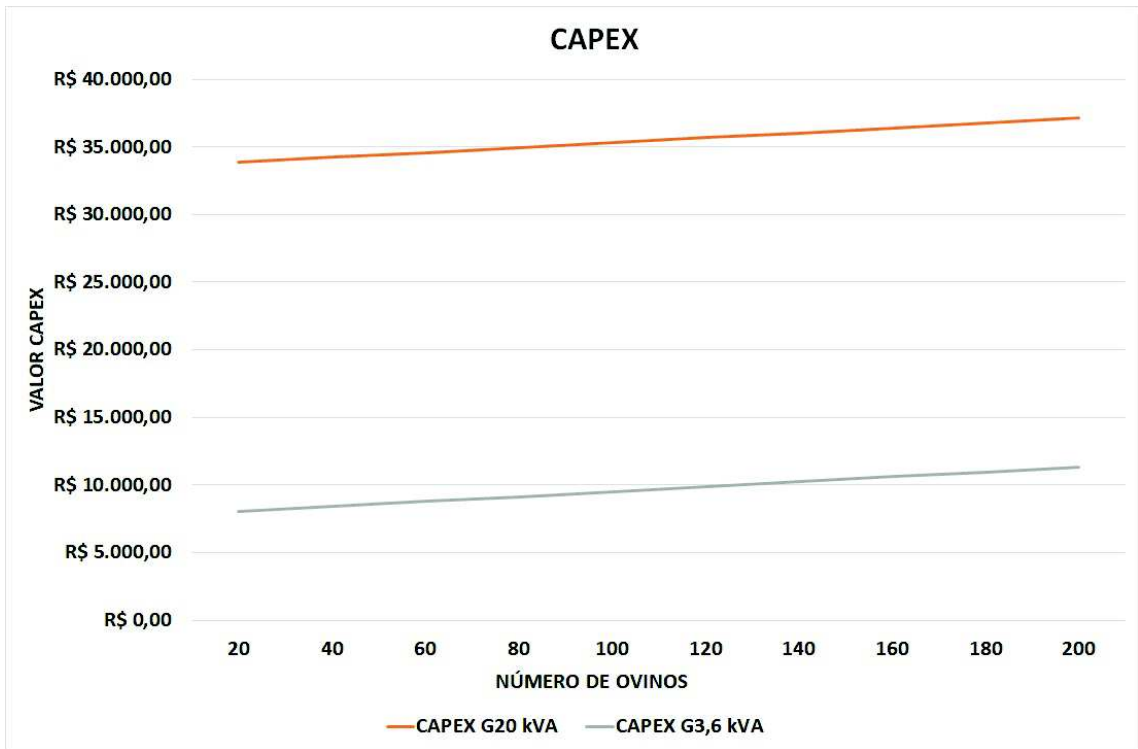


Figura 14: Relação do CAPEX com o número de ovinos

Fonte: Autoria própria

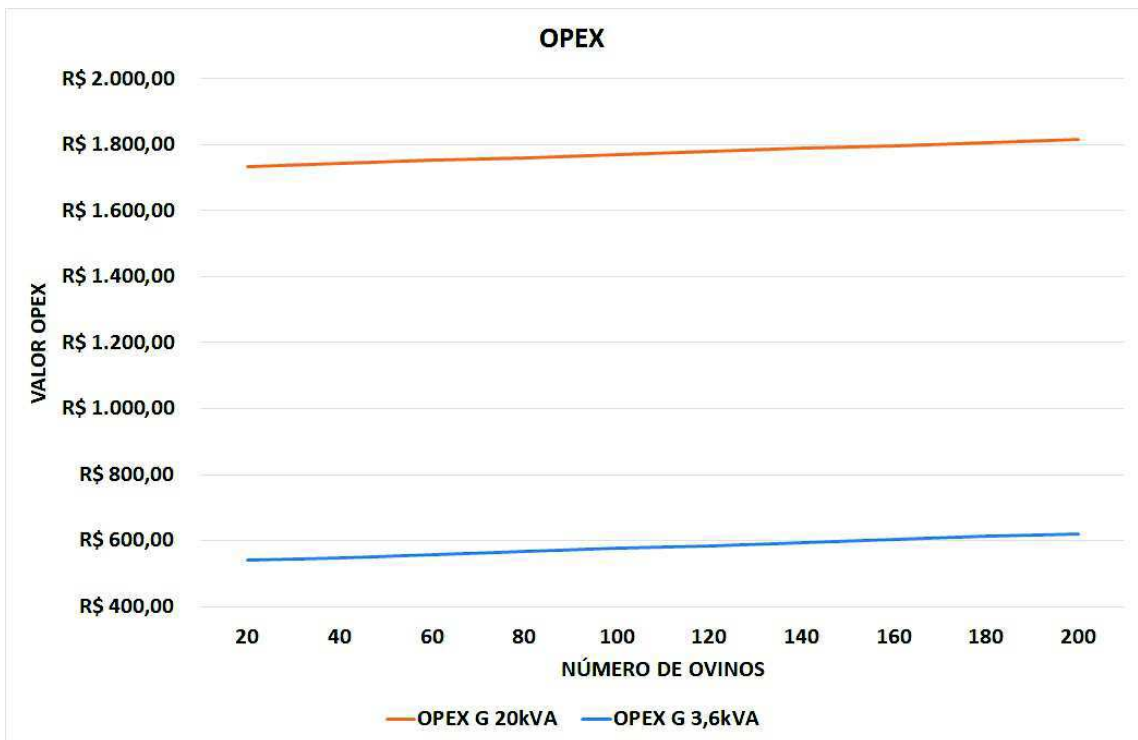


Figura 15: Relação do OPEX com o número de ovinos

Fonte: Autoria própria

Através da análise dos gráficos é possível perceber que os custos de investimento e manutenção são mais elevados para o sistema com gerador de 20 kVA quando comparados com o de 3,6 kVA. Isso se deve ao preço mais elevado do gerador de potência maior. No entanto, apenas este gerador possibilita o funcionamento durante 24h por dia.

Com base nos métodos e dados apresentados neste trabalho, visando um sistema autossuficiente e sustentável, foram calculados o consumo em kWh anual necessário para que o sistema se pague em 5, 10 e 15 anos. Estes resultados são apresentados na Tabela 24.

Tabela 24: Relação entre consumo e tempo de retorno de investimento

N_{Ovinos}	5 anos (kWh/Ano)	10 anos (kWh/Ano)	15 anos (kWh/Ano)
140	-	-	-
160	-	-	-
180	-	-	9.700
200	-	11.300	9.800
220	-	11.450	9.800
240	-	11.450	9.900
260	-	11.600	10.000
280	-	11.700	10.000
300	17.200	12.000	10.250

Fonte: Autoria própria

Ainda, foram calculados os tempos de retorno dos investimentos para situações onde o consumo anual de energia é o mesmo que o potencial máximo de geração para cada cenário, com limite máximo de 20 anos de retorno. Estes resultados são apresentados na Tabela 25

Tabela 25: Tempo de retorno para cada potencial de geração

N_{Ovinos}	Consumo Anual (kWh/Ano)	Tempo de Retorno do Investimento (Anos)
20	1.146,76	-
40	2.293,53	-
60	3.440,29	-
80	4.587,05	-
100	5.733,82	-
120	6.880,58	-
140	8.027,34	-
160	9.174,11	17
180	10.320,87	12
200	11.467,63	10
220	12.614,40	8
240	13.761,16	7
260	14.907,92	7
280	16.054,69	6
300	17.201,45	5

Fonte: Autoria própria

É possível perceber que a para que o sistema se pague em pelo menos 15 anos, a propriedade deveria ter um consumo anual de energia de pelo menos 9.700 kWh. Além disso, nota-se que quanto maior o número de animais, maior deve ser o consumo para que o retorno do investimento aconteça em menos tempo.

5.2 ANÁLISE DA REDUÇÃO DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

O presente estudo teve também como objetivo analisar o potencial de redução da emissão de gases de efeito estufa gerados através da digestão anaeróbica do dejetos de ovinos, utilizados para suprir a demanda de energia de uma propriedade. Os potenciais foram analisados de 20 a 300 ovinos em incrementos de 20 animais.

A Figura 16 apresenta a relação da emissão anual de carbono equivalente (Kg) em com número de animais do plantel. O valor de interesse para o presente trabalho é atingido com 140

animais, número de animais que suprem demanda de energia da propriedade, como mostrado anteriormente.

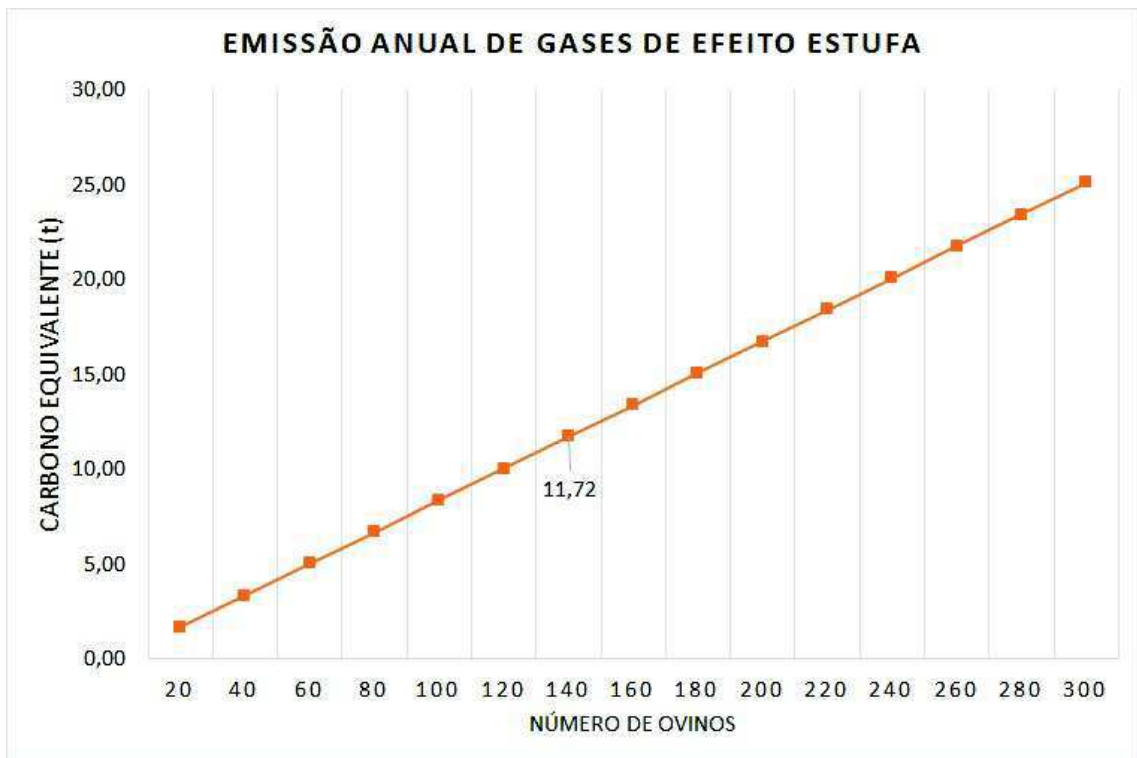


Figura 16: Relação da emissão de carbono equivalente com o número de ovinos

Fonte: Autoria própria

Através da análise do gráfico é possível perceber que a emissão de carbono equivalente (tCO₂e) para um plantel de 140 ovinos é de aproximadamente 11,72 toneladas. Ainda, nota-se que, quanto maior o volume de biogás gerado diariamente, maior é a quantidade de gases de efeito estufa.

Já para uma análise da realidade atual da propriedade, com o objetivo de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, através do tratamento dos dejetos, seria possível reduzir aproximadamente uma tonelada de emissões anualmente.

6 CONCLUSÃO

Atualmente, com a variação do preço da energia, devido ao acionamento das usinas térmicas nos períodos em que os níveis dos reservatórios estão baixo, e com o crescimento do incentivo à novas formas de geração de energia, fontes mais limpas e sustentáveis começam a surgir, com o intuito de reduzir as emissões dos gases de efeito estufa e ao mesmo tempo suprir a demanda energética.

Com as análises realizadas no presente estudo, é possível perceber que, a viabilidade econômica da implantação de um sistema de tratamento de dejetos ovinos para a geração de energia elétrica depende não apenas do número do plantel, mas principalmente do consumo de eletricidade da propriedade. Quanto maior o consumo, menor será o tempo de retorno do investimento. Por outro lado, um menor consumo, implica num menor custo de investimento para o sistema de tratamento dos dejetos, e, conseqüentemente, os valores de CAPEX e OPEX serão menores.

Além disso, um número maior de animais talvez implique num maior consumo de energia, o que pode tornar o sistema mais viável.

O presente estudo tinha inicialmente a intenção de realizar um estudo de caso, no entanto acabou se tornando o estudo a partir de um caso, e assim, atingindo uma totalidade maior do que a esperada.

O estudo realizado para a propriedade localizada em Campo Largo/PR aponta que para pequenas propriedades, é possível investir na obtenção de um sistema de geração de energia à biogás e trabalhar no Sistema de Compensação de Energia elétrica junto à concessionária. Para atender a demanda de energia elétrica da propriedade em estudo, que possui um gasto médio de 657,75 kWh por mês, seria necessário um plantel de 140 ovinos. Dois geradores foram estudados, um com potência de 20 kVA e outro de 3,6 kVA, ambos atenderiam as necessidades da propriedade. Entretanto, deveriam obrigatoriamente trabalhar no Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Os investimentos necessários para o sistema com o gerador de 20 kVA são muito maiores, entretanto, ele pode trabalhar em regime permanente, podendo ser uma escolha

melhor para propriedade com consumos de energia elétrica e plantéis maiores.

O Sistema de Compensação de Energia Elétrica permite que o gerador fique ligado por um período determinado, injetando energia na rede e, assim, poder continuar consumindo energia no período em que o gerador está desligado.

Para o cálculo do retorno do investimento, nos casos em que o gerador trabalha em sistema de compensação de energia, onde o valor da compensação não é de 1:1, ou seja, o valor real, são necessários estudos mais aprofundados.

O biogás de ovinos se mostra viável para produção de energia, mesmo produzindo volumes menores de excrementos. Sendo assim, animais que produzem maiores volumes diários de excrementos possuem maior potencial de produção de biogás e conseqüentemente geração de energia.

É possível também utilizar o biogás para outras funcionalidades, como por exemplo gás de cozinha, podendo reduzir ainda mais os prazos de retorno de investimento, quando há biogás excedente.

O tratamento dos dejetos de ovinos pode não apenas ser utilizado para a geração de energia elétrica, mas também com o intuito de reduzir o impacto ambiental causado pelas ações do homem. A mitigação da emissão de gases de efeito estufa para aqueles que gostariam de diminuir sua "pegada de carbono" pode ser feita através de projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

No caso da propriedade em estudo, que possui ovelhas como fonte de biogás, é possível realizar o tratamento dos dejetos através de biodigestores a fim de diminuir a emissão de gases poluentes. A quantidade de carbono equivalente produzido anualmente pelo plantel de 140 ovelhas é de aproximadamente 11,7 toneladas. Assim, o tratamento dos dejetos é fundamental não apenas para gerar energia, mas principalmente para redução de emissão de gases de efeito estufa na atmosfera.

REFERÊNCIAS

- ABIEC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA EXPORTADORA DE CARNES. 2016. Acesso em: 29 Out. 2016. Disponível em: <http://www.abiec.com.br/3_pecuaria.asp>.
- ABIEC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA EXPORTADORA DE CARNES. 2016. Acesso em: 29 Out. 2016. Disponível em: <<http://www.abiec.com.br/img/Upl/balan%C3%A7o-100415.jpg>>.
- ACKERMANN, T.; ANDERSSON, G.; SODER, L. **Distributed generation: A definition**. Países Baixos: ELSEVIER, 12 2001. 195-204 p.
- AES, K. A. M. et al. **Paranoma e perspectiva nacional da ovinocultura e caprinocultura**. 2016. Acesso em: 19 out. 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/BCFgof>>.
- AGRAZ, A. A. **Caprinotecnia 2**. 1212 p. Dissertação (Mestrado), México, 1989.
- AICH, A. E.; WATERHOUSE, A. **Small ruminants in environmental conservation**. 271-287 p. Dissertação (Mestrado), 1999. Acesso em: 14 out. 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921448899000796>>.
- AL-MARSI, M. R. **Changes in biogas production due to different ratios of some animal and agricultural wastes**. [S.l.]: ELSEVIER, 2001. 97-100 p.
- ALVES, F. S. F.; PINHEIRO, R. R. **O esterco caprino e ovino como fonte de renda**. Dissertação (Mestrado), Minas Gerais, 2005.
- AMORIM, A. C. **Caracterização dos dejetos de caprinos: reciclagem energética e de nutrientes**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2002.
- AMORIM, A. C. **Avaliação do potencial de impacto ambiental e do uso da compostagem e biodigestão anaeróbia na produção de caprinos**. Dissertação (Doutorado) — Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2005.
- ANDRADE, W. R. et al. **Biogas production from ruminant and monogastric animal manure co-digested with manipueira**. 2016. Acesso em: 20 abr. 2017. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49549092014>>.
- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Lei Nº 10.438, de 26 de Abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis n o 9.427, de 26 de dezembro de 1996, n o 9.648, de 27 de maio de 1998, n o 3.890-A, de 25 de abril de 1961, n o 5.655, de 20 de maio de 1971, n o 5.899, de 5 de julho de 1973, n o 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências**. 2002. Acesso em: 22 ago. 2016. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/lei200210438.pdf>>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa Nº 414**. Brasília, 2010. 214 p.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa Nº 482**. Brasília, 2012.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST**. 2015. Acesso em: 19 ago. 2016. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Micro e minigeração distribuída**. Brasília: ANEEL, 2016. 31 p.

ANUALPEC - ANUÁRIO DA PECUÁRIA BRASILEIRA. São Paulo, 2011. 292 p. Instituto FNP.

ARAÚJO, L. C. A. D. **Co-digestão anaeróbia dos dejetos de ovinos e glicerina bruta**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal Da Grande Dourado, Mato Grosso do Sul, 2012.

AVACI, A. B. **Cenário econômico e energético da microgeração de energia elétrica proveniente do biogás da suinocultura**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 12 2012.

BARKER, J. C.; HODGES, S. C.; WALLS, F. R. **Livestock manure production rates and nutrient content**. EUA, 2002.

BARRERA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. 2. ed. São Paulo: Ícone, 2003. 106 p.

BASSETTO, L. I.; LIMA, I. A. de; PILATTI, L. A. **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: uma contribuição do setor de energia para o desenvolvimento sustentável**. São Paulo: [s.n.], 2006.

BATISTA, L. F. **Manual Técnico: construção e operação de biodigestores**. 24. ed. Brasília, 1980. 54 p. Manuais.

BERNS, B. A.; SCHNICKE, H.; BOMBONATTI, P. **Anteprojeto de uma usina de pesquisa e capacitação em biogás**. Brasília: Probiogás, 2015. 162 p.

BLEY JÚNIOR, C. **Geração distribuída com biogás**. Foz do Iguaçu: [s.n.], 2008.

BLEY JÚNIOR, C. **Biogás: a energia invisível**. 2. ed. São Paulo: CIBiogás, 2015.

BLEY JÚNIOR, C. et al. **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais**. 2. ed. Foz do Iguaçu/Brasília: Technopolitik, 2009. 140 p. ISBN 978-85-62313-02-8.

BONA, F. S. de; FILHO, E. R. **As microturbinas e a geração distribuída**. Campinas: [s.n.], 2004.

CERVI, R. G.; ESPERANCINI, M. S. T.; BUENO, O. C. **Viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em granja suínica para geração de energia elétrica**. Jaboticabal: [s.n.], 2010.

CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Mudança climática e projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**. Brasília, 2008. 276 p.

COLATTO, L.; LANGER, M. **Biodigestor – resíduo sólido pecuário para produção de energia**. Joaçaba: [s.n.], 7 2011. 119-128 p. Acesso em: 19 ago. 2016. Disponível em: <http://editora.unoesc.edu.br/index.php/acet/article/download/738/pdf_203>.

COLDEBELLA, A. et al. **Viabilidade da geração de energia elétrica através de um motor gerador utilizando biogás da suinocultura**. 7 2008.

CORBITT, R. A. **Standard handbook of environmental engineering**. 1. ed. Nova York: McGraw-Hill, 1990.

COSTA, G. **Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de esterco ovino em condições termofílicas**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Emissões de metano por fermentação entérica e manejo de dejetos de animais**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010. (Relatórios de Referência).

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Demanda de energia 2050**. Rio de Janeiro, 2014. (Estudos Da Demanda De Energia). Nota Técnica Dea 13/14.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional**. Rio de Janeiro, 2016.

FAOSTAT - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Biogás: una opción para diversificar la matriz energética y generar abonos naturales a partir de desechos orgánicos**. 2012. Acesso em: 19 ago. 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/229459/>>.

FAOSTAT - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Database On-line**. 2016. Acesso em: 19 set. 2016. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>.

FIGUEIREDO, C. C. de et al. **mineralização de esterco de ovinos e sua influência na produção de alface**. Brasília: UNB-FAV, 2012.

FILHO, C. G. aes. **Caprino-ovinocultura no semiárido baiano – alguns caminhos para viabilização**. Petrolina: [s.n.], 2009.

FNR - FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE. **Guia prático do biogás: geração e utilização**. 2010.

GENOVESE, A. L.; UDAETA, M. E. M.; AO, L. C. R. G. **Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo**. Dissertação (Mestrado), Campinas, 2006.

GIZ - COOPERAÇÃO ALEMÃ PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Guia técnico ambiental de biogás na agroindústria**. Belo Horizonte, 2015.

HAAS, L. B. **Desenvolvimento de um filtro para remoção de h₂s de biogás**. 57 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.

HENN, A. **Avaliação de dois sistemas de manejo de dejetos em uma pequena propriedade produtora de suínos – condições de partida**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Acesso em: 17 abr. 2017. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/136666/1/final7959.pdf>>.

HIRATA, M. **Return of dung to be hiagrass (*paspalum notatum fliigge*) pasture by dairy cattle**. Nishinasuno: [s.n.], 1990. 350-357 p.

HORN, H. H. V. et al. **Components of dairy manure management systems**. [S.l.: s.n.], 1994. 350-357 p.

IPCC - GUIDELINES FOR NATIONAL GREENHOUSE GAS INVENTORIES. **Climate change 2001: the scientific basis**. [S.l.], 2001.

IPCC - GUIDELINES FOR NATIONAL GREENHOUSE GAS INVENTORIES. **Emissions from livestock and manure management**. Japão: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006. ISBN 4-88788-032-4.

IRBI - INSTITUTO BRASILEIRO DE RELAÇÕES COM INVESTIDORES. **O mercado de carbono**. Brasil, 2009.

JAIN, M. K.; SINGH, R.; TAURO, P. **Anaerobic digestion of cattle and sheep wastes**. Londres: Agricultural Wastes, 1981. 91 p.

JARDIM, W. R. **A criação de caprinos**. 3. ed. São Paulo: Nobel, 1977. 239 p. ISBN 978-85-2130-128-8.

JENDE, O. et al. **Tecnologias de digestão anaeróbica com relevância para o brasil: substratos, digestores e uso de biogás**. 1. ed. Brasília: Próbiogas, 2015. 86 p.

KRUG, T. **Os métodos do inventário do IPCC e sua aplicação em nível estadual**. Curitiba: UFSM, 2008.

LEITE, J. P. T. D. F. D. L.; FERRAZ, T. S. **Autossuficiência de energia elétrica em unidades de produção e terminação de suínos**. 108 p. Dissertação (Graduação) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

LIMA, P. C. R. **Biogás da suinocultura: uma importante fonte de geração de energia**. Brasília: Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, 2007.

LOBOSCO, A.; PENELLA, E. **Mudanças climáticas e desenvolvimento sustentável**. São Paulo: XIII SEMEAD, 2010.

LOMBARD, X.; KHAIRALLAH, P. **Return of experience for microturbines running on landfill gas**. 2004. 163 p.

LOPES, I. V. **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL: guia de orientação**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2002.

MARCHIORI, A. C. C. **Minhocas, a vermicompostagem e a matéria orgânica**. São Paulo: [s.n.], 1990. 36 p.

- MARQUEZAN, L. H. F. **Análise de investimentos**. Rio Grande do Sul: [s.n.], 2006.
- MARTINS, F. M.; OLIVEIRA, P. A. V. **Análise econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás na suinocultura**. Dissertação (Mestrado), Jaboticabal, 2011.
- MCT - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Relatório de referência para inventário nacional de emissão de gases de efeito estufa por atividades agrícolas: emissão de metano proveniente da pecuária no Brasil**. 2010.
- MCT - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo De Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo**. 2011.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. 2016. Acesso em: 19 mar. 2016. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/animal>>.
- MISI, S. N.; FOSTER, C. F. **Batch co-digestion of multi-component agro-wastes**. 2001. 19 p.
- MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo aplicado a resíduos sólidos**. 2007.
- MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Aproveitamento energético do biogás de aterro sanitário**. 2016. Acesso em: 19 mar. 2016. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos/aproveitamento-energetico-do-biogas-de-aterro-sanitario>>.
- MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha energética brasileira: exercício de 2015**. Brasília, 2016. Acesso em: 19 mar. 2016. Disponível em: <<http://www.aben.com.br/Arquivos/456/456.pdf>>.
- MOFFITT, D. **Waste management and recycling of organic matter**. 163 p., 1999.
- MOLINOVA, A. et al. **Biomethane production by anaerobic digestion of organic waste**. ELSEVIER, 1 2013. 1003–1009 p. Acesso em: 19 mar. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2012.07.070>>.
- NOGUEIRA, J. L. M. **Desenvolvimento Limpo e o mercado de carbono**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2007.
- NOVAES, L. P. **Confinamento de bovinos leiteiros**. 178 p. Dissertação (Mestrado) — Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, São Paulo, 1985.
- NTS - NORMA TÉCNICA SABESP. **NTS 230: projeto de lagoas de estabilização e seu tratamento complementar para esgoto sanitário**. São Paulo, 2009. Acesso em: 17 abr. 2017. Disponível em: <<http://www2.sabesp.com.br/normas/nts/nts230.pdf>>.
- OLIVEIRA, P. A. V. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004.
- OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. **Gestão e utilização de biogás em unidades de produção de suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006. 42 p.
- OLIVER, A. de P. M. et al. **Manual de treinamento em biodigestão**. Bahia: [s.n.], 2008. 23 p.

OMM - ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL. **The state of greenhouse gases in the atmosphere based on global observations through 2015**. 2016. Acesso em: 09 mai. 2017. Disponível em: <https://ane4bf-datap1.s3-eu-west-1.amazonaws.com/wmocms/s3fs-public/GHG_Bulletin_12_EN_web_JN161640.pdf?aZaKZhdPdfJdmHvtbSvLwbj6zb_PWwdz>.

ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA. **Histórico da operação: geração de energia**. 2016. Acesso em: 29 ago. 2016. Disponível em: <http://www.ons.org.br/historico/geracao_energia.aspx>.

ONU DI - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Programa de capacitação em energias renováveis - módulo o biogás**. 2013. Acesso em: 19 ago. 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/229459/>>.

PASTERNAK, A. D. **Global energy futures and human development: a framework for analysis**. 2000. Acesso em: 11 mar. 2016. Disponível em: <<https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/239193.pdf>>.

PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP**. Dissertação (mestrado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PIERO, E. P. F. D.; COLOMBINI, G. N. U. I. **Avaliação de projeto de investimento em ultrassonografia ocular: método do payback descontado**. Dissertação (Mestrado), São Paulo, 2004.

PIRES, A. M. **Impactos da crise hídrica na matriz energética brasileira: uma abordagem via teoria de portfólios**. São Paulo: [s.n.], 2015. Acesso em: 29 ago. 2016. Disponível em: <http://pro.poli.usp.br/wp-content/uploads/2015/12/TF_AMPires-Final.pdf>.

PNUMA - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. **The emissions gap report 2016**. 2016. Acesso em: 10 maio 2017. Disponível em: <http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/10016/emission_gap_report_2016.pdf>.

PRATI, L. **Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores**. Dissertação (Graduação) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

PROBIOGÁS. **Biogás - tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para o Brasil substratos, digestores e uso de biogás**. 1. ed. Brasília, 2015. 85 p. ISBN 978-85-7958-039-0.

QALOVIS. 2017. Acesso em: 19 mar. 2017. Disponível em: <<http://www.qalovis.com/en/files/2012/11/qalovis-FleXgen-engine.jpg>>.

QUADROS, D. G. de et al. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos em reator contínuo de PVC flexível**. 326-332 p. Dissertação (Mestrado), Campina Grande, 2010.

QUADROS, D. G. de et al. **Análise econômica do biodigestor para aproveitamento dos dejetos da caprinocultura na agricultura familiar nordestina**. Dissertação (Mestrado), Campina Grande, 2015. Acesso em: 17 abr. 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.17224/EnergAgric.2015v30n1p01-10>>.

QUITTET, E. **La cabra**. Madrid: S.A. Mundi-Prensa Libros, 1990. 318 p. ISBN 978-84-7114-069-2.

- SABBAG, B. K. **O protocolo de Quioto e seus créditos de carbono: manual jurídico Brasileiro de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**. 2. ed. São Paulo: LTR, 2009. 152 p. ISBN 978-853-611-340-1.
- SALES, L. S. **A cabra produtiva**. 1. ed. Portugal: Litexa, 1978. 190 p. ISBN 978-97-2578-054-1.
- SALOMON, K. R. **Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade**. Dissertação (Doutorado) — Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais, 2007.
- SANTIN, M. F. **Vulnerabilidades ambientais e implicações para o desenvolvimento sustentável**. Porto Alegre: [s.n.], 2006.
- SANTOS, M. B.; SANTOS, A. S.; CEZAR, V. R. S. **Avaliação da eficiência do sistema de biodigestão anaeróbia abastecido com substrato orgânico formado pela combinação de esterco ovino e manipueira**. [S.l.: s.n.], 2011.
- SGANZERLA, E. **Biodigestor, uma solução**. Porto Alegre: [s.n.], 1983.
- SILVA, C. O. et al. **Biodigestão anaeróbia com substrato formado pela combinação de esterco ovinocaprino, manipueira e biofertilizante**. Sergipe: Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, 2013. 88-103 p.
- SISTER, G. **Mercado de carbono e protocolo de Quioto**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- SOUZA, S. N. M. et al. **Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura**. Dissertação (Mestrado) — Universidade do Oeste do Paraná, Cascavel, 2005.
- SPRENGER, H. E. **Viabilidade do uso de biogás de ETE para alimentação de células a combustível de ácido fosfórico**. Curitiba: [s.n.], 2009.
- STEELE, B. C. H.; HEINZEL, J. L. **Materials For Fuel-cell Technologies**. [S.l.]: Nature, 2001.
- STEINFELD, H. et al. **Livestock's long shadow. environment issues and options**. 1. ed. Roma: LEAD and FAO, 2006. 408 p. ISBN 978-92-5-105571-7.
- TESKE, S.; GWEC; EREC. **[R]evolução energética: a caminho do Desenvolvimento Limpo**. [S.l.]: Greenpeace, 2013. 41 p.
- WANDER, A. E.; MARTINS, E. C. **Viabilidade econômica da caprinocultura leiteira**. Uberaba: Agropecuária Tropical, 2008. 15 p.
- WILLIS, H. L.; SCOTT, W. G. **Distributed power generation: planning and evaluation**. Nove Iorque: Marcel Dekker, 2000. 597 p.
- ZANIN, A.; BAGATINI, F. B.; PESSATTO, C. B. **Viabilidade econômico-financeira de implantação de biodigestor: uma alternativa para reduzir os impactos ambientais causados pela suinocultura**. 1. ed. Recife: Custos e Agronegócio Online, 2010. 121-139 p.

APÊNDICE A – APRESENTAÇÃO DOS CENÁRIOS

Com o intuito de facilitar a análise dos cenários para cada plantel de ovinos em estudo, são apresentados neste apêndice todas as possibilidades de cenários.

Planteis com 20 ovinos		Planteis com 20 ovinos	
Volume de dejetos (m^3/dia)	0,08	Volume de dejetos (m^3/dia)	0,08
Volume do biodigestor (m^3)	3,6	Volume do biodigestor (m^3)	3,6
Produção de biogás (m^3)	2,16	Produção de biogás (m^3)	2,16
Gerador (kVA)	20	Gerador (kVA)	3,6
Geração diária (kWh/dia)	3,14	Geração diária (kWh/dia)	3,11
Geração anual (kWh/ano)	1.146,76	Geração anual (kWh/ano)	1.135,30
Tempo de Geração (h/dia)	0,2	Tempo de Geração (h/dia)	1,08
CAPEX (R\$)	33.863,46	CAPEX (R\$)	8.051,92
Custo de Manutenção (R\$/ano)	1.734,09	Custo de Manutenção (R\$/ano)	539,59

Planteis com 40 ovinos		Planteis com 40 ovinos	
Volume de dejetos (m^3/dia)	0,16	Volume de dejetos (m^3/dia)	0,16
Volume do biodigestor (m^3)	7,2	Volume do biodigestor (m^3)	7,2
Produção de biogás (m^3)	4,32	Produção de biogás (m^3)	4,32
Gerador (kVA)	20	Gerador (kVA)	3,6
Geração diária (kWh/dia)	6,28	Geração diária (kWh/dia)	6,22
Geração anual (kWh/ano)	2.293,53	Geração anual (kWh/ano)	2.270,59
Tempo de Geração (h/dia)	0,39	Tempo de Geração (h/dia)	2,16
CAPEX (R\$)	34.226,91	CAPEX (R\$)	8.415,38
Custo de Manutenção (R\$/ano)	1.743,17	Custo de Manutenção (R\$/ano)	548,68

Planteis com 60 ovinos		Planteis com 60 ovinos	
Volume de dejetos (m^3/dia)	0,24	Volume de dejetos (m^3/dia)	0,24
Volume do biodigestor (m^3)	10,8	Volume do biodigestor (m^3)	10,8
Produção de biogás (m^3)	6,48	Produção de biogás (m^3)	6,48
Gerador (kVA)	20	Gerador (kVA)	3,6
Geração diária (kWh/dia)	9,43	Geração diária (kWh/dia)	9,33
Geração anual (kWh/ano)	3.440,29	Geração anual (kWh/ano)	4.405,89
Tempo de Geração (h/dia)	0,59	Tempo de Geração (h/dia)	3,24
CAPEX (R\$)	34.590,37	CAPEX (R\$)	8.778,83
Custo de Manutenção (R\$/ano)	1.752,267	Custo de Manutenção (R\$/ano)	557,76

Planteis com 80 ovinos		Planteis com 80 ovinos	
Volume de dejetos (m^3/dia)	0,32	Volume de dejetos (m^3/dia)	0,32
Volume do biodigestor (m^3)	14,4	Volume do biodigestor (m^3)	14,4
Produção de biogás (m^3)	8,64	Produção de biogás (m^3)	8,64
Gerador (kVA)	20	Gerador (kVA)	3,6
Geração diária (kWh/dia)	12,57	Geração diária (kWh/dia)	12,44
Geração anual (kWh/ano)	4.587,05	Geração anual (kWh/ano)	4.541,18
Tempo de Geração (h/dia)	0,79	Tempo de Geração (h/dia)	4,32
CAPEX (R\$)	34.953,82	CAPEX (R\$)	9.142,29
Custo de Manutenção (R\$/ano)	1.761,35	Custo de Manutenção (R\$/ano)	566,85

Planteis com 100 ovinos		Planteis com 100 ovinos	
Volume de dejetos (m^3/dia)	0,4	Volume de dejetos (m^3/dia)	0,4
Volume do biodigestor (m^3)	18	Volume do biodigestor (m^3)	18
Produção de biogás (m^3)	10,8	Produção de biogás (m^3)	10,8
Gerador (kVA)	20	Gerador (kVA)	3,6
Geração diária (kWh/dia)	15,71	Geração diária (kWh/dia)	15,55
Geração anual (kWh/ano)	5.733,82	Geração anual (kWh/ano)	5.676,48
Tempo de Geração (h/dia)	0,98	Tempo de Geração (h/dia)	5,4
CAPEX (R\$)	35.317,28	CAPEX (R\$)	9.505,75
OPEX (R\$/ano)	1.770,43	OPEX (R\$/ano)	575,94

Planteis com 120 ovinos		Planteis com 120 ovinos	
Volume de dejetos (m^3/dia)	0,48	Volume de dejetos (m^3/dia)	0,48
Volume do biodigestor (m^3)	21,6	Volume do biodigestor (m^3)	21,6
Produção de biogás (m^3)	12,96	Produção de biogás (m^3)	12,96
Gerador (kVA)	20	Gerador (kVA)	3,6
Geração diária (kWh/dia)	18,85	Geração diária (kWh/dia)	18,66
Geração anual (kWh/ano)	6.880,58	Geração anual (kWh/ano)	6.811,78
Tempo de Geração (h/dia)	1,18	Tempo de Geração (h/dia)	6,48
CAPEX (R\$)	35.680,74	CAPEX (R\$)	9.869,20
Custo de Manutenção (R\$/ano)	1.779,52	Custo de Manutenção (R\$/ano)	585,02

Planteis com 140 ovinos		Planteis com 140 ovinos	
Volume de dejetos (m^3/dia)	0,56	Volume de dejetos (m^3/dia)	0,56
Volume do biodigestor (m^3)	25,2	Volume do biodigestor (m^3)	25,2
Produção de biogás (m^3)	15,12	Produção de biogás (m^3)	15,12
Gerador (kVA)	20	Gerador (kVA)	3,6
Geração diária (kWh/dia)	21,99	Geração diária (kWh/dia)	21,77
Geração anual (kWh/ano)	8.027,34	Geração anual (kWh/ano)	7.947,07
Tempo de Geração (h/dia)	1,37	Tempo de Geração (h/dia)	7,56
CAPEX (R\$)	36.044,19	CAPEX (R\$)	10.232,66
Custo de Manutenção (R\$/ano)	1.788,60	Custo de Manutenção (R\$/ano)	594,11

Planteis com 160 ovinos		Planteis com 160 ovinos	
Volume de dejetos (m^3/dia)	0,64	Volume de dejetos (m^3/dia)	0,64
Volume do biodigestor (m^3)	28,8	Volume do biodigestor (m^3)	28,8
Produção de biogás (m^3)	17,28	Produção de biogás (m^3)	17,28
Gerador (kVA)	20	Gerador (kVA)	3,6
Geração diária (kWh/dia)	25,13	Geração diária (kWh/dia)	24,88
Geração anual (kWh/ano)	9.174,11	Geração anual (kWh/ano)	9.082,37
Tempo de Geração (h/dia)	1,57	Tempo de Geração (h/dia)	8,64
CAPEX (R\$)	36.407,65	CAPEX (R\$)	10.596,11
Custo de Manutenção (R\$/ano)	1.797,69	Custo de Manutenção (R\$/ano)	603,20

Planteis com 180 ovinos		Planteis com 180 ovinos	
Volume de dejetos (m^3/dia)	0,72	Volume de dejetos (m^3/dia)	0,72
Volume do biodigestor (m^3)	32,4	Volume do biodigestor (m^3)	32,4
Produção de biogás (m^3)	19,44	Produção de biogás (m^3)	19,44
Gerador (kVA)	20	Gerador (kVA)	3,6
Geração diária (kWh/dia)	28,28	Geração diária (kWh/dia)	27,99
Geração anual (kWh/ano)	10.320,87	Geração anual (kWh/ano)	10.217,66
Tempo de Geração (h/dia)	1,77	Tempo de Geração (h/dia)	9,72
CAPEX (R\$)	36.771,10	CAPEX (R\$)	10.959,57
Custo de Manutenção (R\$/ano)	1.806,78	Custo de Manutenção (R\$/ano)	612,28

Planteis com 200 ovinos		Planteis com 200 ovinos	
Volume de dejetos (m^3/dia)	0,8	Volume de dejetos (m^3/dia)	0,8
Volume do biodigestor (m^3)	36	Volume do biodigestor (m^3)	36
Produção de biogás (m^3)	21,6	Produção de biogás (m^3)	21,6
Gerador (kVA)	20	Gerador (kVA)	3,6
Geração diária (kWh/dia)	31,42	Geração diária (kWh/dia)	31,10
Geração anual (kWh/ano)	11.467,63	Geração anual (kWh/ano)	11.352,96
Tempo de Geração (h/dia)	1,96	Tempo de Geração (h/dia)	10,8
CAPEX (R\$)	37.134,56	CAPEX (R\$)	11.323,03
Custo de Manutenção (R\$/ano)	1.815,86	Custo de Manutenção (R\$/ano)	621,37

Planteis com 220 ovinos		Planteis com 220 ovinos	
Volume de dejetos (m^3/dia)	0,88	Volume de dejetos (m^3/dia)	0,88
Volume do biodigestor (m^3)	39,6	Volume do biodigestor (m^3)	39,6
Produção de biogás (m^3)	23,76	Produção de biogás (m^3)	23,76
Gerador (kVA)	20	Gerador (kVA)	3,6
Geração diária (kWh/dia)	34,56	Geração diária (kWh/dia)	34,21
Geração anual (kWh/ano)	12.614,40	Geração anual (kWh/ano)	12.488,26
Tempo de Geração (h/dia)	2,16	Tempo de Geração (h/dia)	11,88
CAPEX (R\$)	37.498,02	CAPEX (R\$)	11.686,48
Custo de Manutenção (R\$/ano)	1.824,95	Custo de Manutenção (R\$/ano)	630,45

Planteis com 240 ovinos		Planteis com 240 ovinos	
Volume de dejetos (m^3/dia)	0,96	Volume de dejetos (m^3/dia)	0,96
Volume do biodigestor (m^3)	43,2	Volume do biodigestor (m^3)	43,2
Produção de biogás (m^3)	25,92	Produção de biogás (m^3)	25,92
Gerador (kVA)	20	Gerador (kVA)	3,6
Geração diária (kWh/dia)	37,70	Geração diária (kWh/dia)	37,32
Geração anual (kWh/ano)	13.761,16	Geração anual (kWh/ano)	13.623,55
Tempo de Geração (h/dia)	2,36	Tempo de Geração (h/dia)	12,96
CAPEX (R\$)	37.861,47	CAPEX (R\$)	12.049,94
Custo de Manutenção (R\$/ano)	1.834,04	Custo de Manutenção (R\$/ano)	639,54

Planteis com 260 ovinos		Planteis com 260 ovinos	
Volume de dejetos (m^3/dia)	1,04	Volume de dejetos (m^3/dia)	1,04
Volume do biodigestor (m^3)	46,8	Volume do biodigestor (m^3)	46,8
Produção de biogás (m^3)	28,08	Produção de biogás (m^3)	28,08
Gerador (kVA)	20	Gerador (kVA)	3,6
Geração diária (kWh/dia)	40,84	Geração diária (kWh/dia)	40,44
Geração anual (kWh/ano)	14.907,92	Geração anual (kWh/ano)	14.758,85
Tempo de Geração (h/dia)	2,55	Tempo de Geração (h/dia)	14,04
CAPEX (R\$)	38.224,93	CAPEX (R\$)	12.413,39
Custo de Manutenção (R\$/ano)	1.843,12	Custo de Manutenção (R\$/ano)	648,63

Planteis com 280 ovinos		Planteis com 280 ovinos	
Volume de dejetos (m^3/dia)	1,12	Volume de dejetos (m^3/dia)	1,12
Volume do biodigestor (m^3)	50,4	Volume do biodigestor (m^3)	50,4
Produção de biogás (m^3)	30,24	Produção de biogás (m^3)	30,24
Gerador (kVA)	20	Gerador (kVA)	3,6
Geração diária (kWh/dia)	43,99	Geração diária (kWh/dia)	43,55
Geração anual (kWh/ano)	16.054,69	Geração anual (kWh/ano)	15.894,14
Tempo de Geração (h/dia)	2,75	Tempo de Geração (h/dia)	15,12
CAPEX (R\$)	38.588,38	CAPEX (R\$)	12.776,85
Custo de Manutenção (R\$/ano)	1.852,21	Custo de Manutenção (R\$/ano)	657,71

Planteis com 300 ovinos		Planteis com 300 ovinos	
Volume de dejetos (m^3/dia)	1,2	Volume de dejetos (m^3/dia)	1,2
Volume do biodigestor (m^3)	54	Volume do biodigestor (m^3)	54
Produção de biogás (m^3)	32,4	Produção de biogás (m^3)	32,4
Gerador (kVA)	20	Gerador (kVA)	3,6
Geração diária (kWh/dia)	47,13	Geração diária (kWh/dia)	46,66
Geração anual (kWh/ano)	17.201,45	Geração anual (kWh/ano)	17.029,44
Tempo de Geração (h/dia)	2,95	Tempo de Geração (h/dia)	16,20
CAPEX (R\$)	38.951,84	CAPEX (R\$)	13.140,31
Custo de Manutenção (R\$/ano)	1.861,30	Custo de Manutenção (R\$/ano)	666,80