

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Dilnei Nuernberg da Silva

**Geração de Energia Elétrica com Biogás Produzido a Partir de Dejetos Bovinos na  
Indústria**

Florianópolis

2021

Dilnei Nuernberg da Silva

**Estudo de Caso da Geração de Energia Elétrica a Partir do Biogás Produzido de Dejetos  
Bovinos na Indústria**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Mauricio Valencia Ferreira da Luz, Dr.

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silva, Dilnei Nuernberg da

Geração de energia elétrica com biogás produzido a partir de dejetos bovinos na indústria : estudo de caso da geração de energia elétrica a partir do biogás produzido de dejetos bovinos na indústria / Dilnei Nuernberg da Silva ; orientador, Mauricio Valencia Ferreira da Luz, 2021.

79 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia Elétrica, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia Elétrica. I. Luz, Mauricio Valencia Ferreira da. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

Dilnei Nuernberg da Silva

## **Geração de Energia Elétrica com Biogás Produzido a Partir de Dejetos Bovinos na Indústria**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Elétrica” e aceito, em sua forma final, pelo Curso de Graduação em Engenharia Elétrica.

Florianópolis, 17 de dezembro de 2021.



Documento assinado digitalmente  
Jean Viane Leite  
Data: 28/12/2021 09:18:06-0300  
CPF: 003.474.909-80  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Prof. Jean Viane Leite, Dr.  
Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

### **Banca Examinadora:**



Documento assinado digitalmente  
Mauricio Valencia Ferreira da Luz  
Data: 22/12/2021 13:17:14-0300  
CPF: 960.926.969-91  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Prof. Mauricio Valencia Ferreira da Luz, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente  
Jean Viane Leite  
Data: 28/12/2021 09:18:22-0300  
CPF: 003.474.909-80  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Prof. Jean Viane Leite, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'A. Hafner', written over a horizontal line.

---

Prof. Angelo Alfredo Hafner, Dr.  
Universidade do Estado de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado a todos que contribuíram para o meu conhecimento profissional e pessoal, em especial aos meus pais e a minha esposa.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer a meus pais, Apolônia Maria da Silva e Azenir Angelo da Silva (in memória) que me deram a vida, carinho e amor, além da oportunidade de estudar.

A minha esposa, July Chrystie Nuernberg, a qual amo muito e me acompanhou praticamente por todo o meu período de graduação, além de efetuar a revisão deste documento.

Ao Professor Amilton Coelho, que me proporcionou uma enorme experiência profissional, a qual permitiu que eu promovesse o meu sustento e o da minha família e, por consequência, a possibilidade de perseverar no Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina.

## RESUMO

Com a crescente preocupação mundial com o clima e a crescente demanda mundial por energias, em especial a energia elétrica, os projetos de geração de energia por meio de fontes renováveis vêm ganhando destaque e importância, em especial a geração solar, eólica, biomassa e mesmo a hidroelétrica. O aproveitamento de compostos orgânicos passou a ser utilizado como matéria prima e fonte energética em diversas áreas. Apesar de ainda pouco representativo na matriz energética Brasileira, o biogás passou a ser um processo bastante analisado e estudado, principalmente do ponto de vista ambiental, por mitigar a poluição de solos, corpos d'água e reter o metano eliminado na atmosfera durante a decomposição biológica. Este trabalho apresenta um estudo de caso de implementação de processo de tratamento de resíduos sólidos a base de dejetos oriundos da limpeza das vísceras (rúmen), currais, sangue, e outros materiais para geração de biogás. Esse tratamento será instalado em um frigorífico de abate de bovinos em operação e em processo de expansão, com previsão de abater 600 animais por dia. O estudo contempla a instalação de biodigestores, tanques de decantação, filtros, geradores de energia elétrica e adequações necessárias na estrutura física e na estrutura elétrica para operação em paralelo com a rede de distribuição da concessionária local de energia elétrica. O estudo também realiza análise de viabilidade técnica e operacional, bem como a análise de potencial de retorno financeiro para a empresa.

**Palavras-chave:** Biodigestores. Biogás. Geração de energia elétrica. Fontes renováveis de energia elétrica. Autoprodutor de energia elétrica.

## ABSTRACT

With the growing global concern with the climate and the growing global demand for energy, especially electricity, energy generation projects which use renewable sources have been gaining prominence and importance, particularly solar, wind, biomass, and hydroelectric generation. Organic compounds started being used as raw materials and an energy source in several areas. Although not yet very representative in the Brazilian energy matrix, biogas has become a process that has been extensively analyzed and studied, mainly from an environmental point of view, as it mitigates the pollution of soils, water bodies and retains the methane eliminated in the atmosphere during biological decomposition. This work presents a case study of the implementation of a solid waste treatment process based on waste from the cleaning of viscera (rumen), corrals, blood, and other materials for the generation of biogas. This treatment will be installed in a cattle slaughterhouse in operation and in the process of expansion, with an expected daily slaughter of 600 animals. The study contemplates the installation of biodigesters, settling tanks, filters, electrical energy generators, and necessary adjustments in the physical structure and electrical structure for operation in parallel with the distribution network of the local electric energy utility. The study also performs the technical and operational feasibility, as well as the analysis of potential financial return for the company.

**Keywords:** Biodigestors. Biogas. Electrical energy generation. Renewable electrical energy sources. Auto-producer of electrical energy.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Representatividade do PIB do agronegócio x brasileiro em 2015.....	19
Figura 2.2 - Representatividade do PIB pecuário x agronegócio brasileiro.....	19
Figura 2.3 - Saldo da balança comercial do Brasil e a importância do agronegócio.	20
Figura 2.4 - Distribuição das fontes de energia no mundo.....	21
Figura 2.5 - Distribuição das fontes de energia no Brasil. ....	22
Figura 2.6 - Fontes de geração elétrica no Brasil. ....	22
Figura 2.7 - Aviário Dark-House .....	24
Figura 2.8 - Aviário Dark-House com cama de frango. ....	25
Figura 2.9 - Granja de suínos. ....	26
Figura 2.10 - Rebanho de bovinos no campo. ....	28
Figura 3.1- Fluxograma básico do projeto. ....	29
Figura 3.2 - Caminhão boiadeiro.....	31
Figura 3.3 - Planta baixa currais.....	32
Figura 3.4 - Planta baixa esterqueira .....	33
Figura 3.5 - Corte lateral da esterqueira .....	33
Figura 3.6 - Biodigestor.....	40
Figura 3.7 - Corte lateral entrada de mistura no biodigestor .....	41
Figura 3.8 - Detalhamento sistema de agitação e aquecimento. ....	42
Figura 3.9 - Esquemático sistema de decantação. ....	45
Figura 3.10 - Filtro prensa "Bomax". ....	47
Figura 3.11 - Expectativa de produção de biogás por biomassa. ....	49
Figura 3.12 - Water scrubbing.....	50
Figura 4.1- Gráfico de demanda de um dia típico de operação da empresa.....	61
Figura 4.2 - Receitas operacionais .....	65
Figura 5.1 - Retorno financeiro em relação à taxa de juros .....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Classificação por aplicação energética do biogás no Brasil em 2019....	16
Tabela 3.1 - Composição do biogás. ....	48
Tabela 3.2 - Variação do poder calorífico em relação à composição do biogás. ....	52
Tabela 4.1 - Custo da demanda de potência atual (incentivada 50%).....	59
Tabela 4.2 - Custo da energia elétrica atual (Mercado livre). ....	59
Tabela 4.3- Estimativa de economia da conta de energia. ....	62
Tabela 4.4 - Estimativa de custo de transporte.....	64
Tabela 4.5 - Custos de implementação do projeto. ....	66
Tabela A.1 - Composição da tarifa de energia elétrica. ....	78
Tabela A.2 - Espelha da nota fiscal mercado livre de energia elétrica .....	78

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina.

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes.

BNDES - Banco nacional de desenvolvimento social.

FINEP - Financiadora de estudos e projetos.

ETE - Estação de tratamento de efluentes.

CH<sub>4</sub> - Gás metano.

N<sub>2</sub> - Nitrogênio.

H<sub>2</sub>S - Acido Sulfídrico.

CO<sub>2</sub> - Gás carbônico.

CO - Monóxido de carbono.

DQO - Demanda química de oxigênio.

DIPOA - Divisão de Inspeção Agropecuária de Origem Animal.

pH - Potencial hidrogeniônico

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler do RS.

ANA - Agencia nacional de águas e saneamento básico.

CREA - Conselho Regional de Engenharia.

ANEEL - Agencia nacional de energia elétrica.

ONS - Operador nacional do sistema elétrico.

PRODIST - Procedimentos de distribuição (módulos).

CPFL - Concessionária de energia elétrica (empresa privada).

RGE - Rio Grande Energia (concessionária de energia controlada pela CPFL).

ART - Anotação de responsabilidade técnica.

GMG - Grupo motor gerador.

USCA - Unidade de controle e automação.

CLP - Controlador lógico programável.

TUSD - Tarifa de utilização do sistema de distribuição.

PIS - Programa de integração social (Imposto).

COFINS - Contribuição para financiamento da seguridade social.

ICMS - Imposto sobre circulação de mercadorias e serviços.

OEM - Custo de operação e manutenção.

PL - Projeto de lei.

PRICE - Sistema financeiro de amortização de financiamento ou sistema Frances.

SAC - Sistema de amortização constante.

COP26 - Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre Mudanças Climáticas.

ONU - Organização das Nações Unidas.

GN - Gás natural.

O&M - Operação e manutenção.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1	OBJETIVOS .....	17
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>18</b>
1.2	ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO.....	18
<b>2</b>	<b>POTENCIALIDADE DO PROJETO.....</b>	<b>19</b>
2.1	PROCESSAMENTO DE PROTEINA ANIMAL.....	23
<b>2.1.1</b>	<b>Seguimento de aves .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Suínos.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Bovinos.....</b>	<b>27</b>
<b>3</b>	<b>DESCRIÇÃO DO PROJETO .....</b>	<b>29</b>
3.1	DOS INSUMOS A SEREM PROCESSADOS.....	30
3.2	DA MATÉRIA PRIMA.....	33
<b>3.2.1</b>	<b>Resíduos sólidos .....</b>	<b>34</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Água .....</b>	<b>34</b>
3.3	ESTERQUEIRA (TANQUES DE EQUALIZAÇÃO).....	35
3.4	BIODIGESTOR.....	36
<b>3.4.1</b>	<b>Considerações.....</b>	<b>36</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Estrutura .....</b>	<b>39</b>
<i>3.4.2.1</i>	<i>Do volume.....</i>	<i>39</i>
<i>3.4.2.2</i>	<i>Entrada de material.....</i>	<i>40</i>
<i>3.4.2.3</i>	<i>Agitação.....</i>	<i>41</i>
<i>3.4.2.4</i>	<i>Controle de temperatura.....</i>	<i>42</i>
<i>3.4.2.5</i>	<i>Retirada da mistura do digestor.....</i>	<i>43</i>
<b>3.4.3</b>	<b>O sangue .....</b>	<b>44</b>
3.5	DECANTADORES .....	44

<b>3.5.1</b>	<b>Considerações.....</b>	<b>44</b>
<b>3.5.2</b>	<b>Estrutura de Decantação.....</b>	<b>44</b>
3.5.2.1	<i>Tanque de decantação.....</i>	44
3.5.2.2	<i>Filtro prensa.....</i>	45
3.6	<b>BIOGÁS .....</b>	<b>47</b>
<b>3.6.1</b>	<b>Metano .....</b>	<b>49</b>
3.6.1.1	<i>Filtro de CO<sub>2</sub>.....</i>	50
3.6.1.2	<i>Gás Sulfídrico .....</i>	51
3.6.1.3	<i>Do PCI do gás.....</i>	52
3.7	<b>GRUPO MOTOR GERADOR.....</b>	<b>52</b>
<b>3.7.1</b>	<b>Motor .....</b>	<b>52</b>
<b>3.7.2</b>	<b>Alternador .....</b>	<b>53</b>
<b>3.7.3</b>	<b>Painel elétrico do gerador .....</b>	<b>53</b>
<b>3.7.4</b>	<b>Transformador isolador .....</b>	<b>54</b>
3.8	<b>INSTALAÇÃO E CONEXÃO A REDE ELÉTRICA .....</b>	<b>54</b>
3.9	<b>LEGISLAÇÃO .....</b>	<b>56</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISE FINANCEIRA E INVESTIMENTOS.....</b>	<b>58</b>
4.1	<b>TARIFAÇÃO E TRIBUTAÇÃO .....</b>	<b>58</b>
4.2	<b>Energia elétrica .....</b>	<b>60</b>
4.3	<b>Adubo orgânico .....</b>	<b>62</b>
4.4	<b>O&amp;M.....</b>	<b>64</b>
<b>4.4.1</b>	<b>Receitas .....</b>	<b>65</b>
4.5	<b>Investimentos necessários.....</b>	<b>65</b>
<b>5</b>	<b>VIABILIDADE DO PROJETO .....</b>	<b>68</b>
5.1	<b>FINANCIAMENTO .....</b>	<b>68</b>
5.2	<b>VIABILIDADE FINANCEIRA .....</b>	<b>69</b>

<b>6</b>	<b>ANÁLISE QUALITATIVA.....</b>	<b>71</b>
6.1	GANHO AMBIENTAL .....	71
6.2	CRÉDITO DE CARBONO .....	72
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>74</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>76</b>
	<b>ANEXO A – NOTAS DE ENERGIA .....</b>	<b>78</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional e o aumento do poder aquisitivo, pela primeira vez na história da humanidade temos menos pessoas pobres do que ricas, somado com as questões climáticas, gerou-se uma preocupação mundial por fontes renováveis de energias, e em especial a energia elétrica. Os projetos de geração de energia através de fontes renováveis vêm ganhando destaque e importância, com sensíveis investimentos em novas estruturas e investimentos significativos em estudos e pesquisas, com destaque os projetos de geração de energia solar, eólica, biomassa e mesmo a hidroelétrica.

O aproveitamento de compostos orgânicos, que outrora eram simplesmente descartados e contribuíam na emissão de gases do efeito estufa, atualmente passou a ser utilizado como matéria prima e fonte energética em diversas áreas.

Apesar de ainda pouco representativa na matriz energética Brasileira, o biogás passou a ser um processo bastante analisado e estudado, principalmente do ponto de vista ambiental, por mitigar a poluição de solos, corpos d'água e reter o metano (CH<sub>4</sub>) eliminado na atmosfera durante a decomposição biológica.

Segundo Artur Milanez [1], em 2019 o Brasil possuía cerca de 521 plantas de geração de biogás e 12 em construção registradas, com potencial de geração de 1,8 bilhão de m<sup>3</sup> de biogás.

A maior parte do gás gerado é utilizada para geração de energia elétrica. Na Tabela 1.1 pode-se observar a distribuição da utilização do gás nas diversas fontes de aplicação.

Tabela 1.1 - Classificação por aplicação energética do biogás no Brasil em 2019

Aplicação	Volume de Biogás (mil m <sup>3</sup> /d)	Participação na produção total (%)
Energia elétrica	1.168	86
Energia térmica	132	10
GNR/Biometano	37	3
Energia mecânica	7	1

Fonte: [1] Com base em dados da CIBiogás, disponíveis em: <https://cibiogas.org/>. Acesso em: 20 mar.

A maioria dos estudos, plantas de compostagem e geração de energia elétrica instalados no Brasil são para o processamento dos dejetos suínos e processamento dos resíduos orgânicos residenciais, tanto por compostagem em biodigestores quanto aproveitamento do gás oriundo dos aterros sanitários.

As tecnologias disponíveis e difundidas de compostagem, purificação, secagem e limpeza, compressão do gás, de motores a combustão, conversão da matéria orgânica em gás e ou energia elétrica, entre outras, foram desenvolvidas para processamento do resíduo orgânico residencial e suinocultura, majoritariamente. Ambos os processos são conceitualmente parecidos, possuindo particularidades quanto ao processo que antecede os biodigestores, a forma de alimentação, a proporção de gases obtida, os processos biológicos e etc., sendo o processamento do resíduo residencial mais complexo do ponto de vista biológico, devido à grande variabilidade da matéria orgânica. Avalia-se neste documento os processos da suinocultura por possuírem maior similaridade com o processo em estudo.

No ramo da suinocultura, há diversos estudos sobre os processos desenvolvidos por empresas privadas em parcerias com as universidades, incluindo a UFSC, Embrapa, Itaipu binacional, além de teses de graduação, mestrado e doutorado.

No entanto, em dados coletados empiricamente com profissionais do setor, lendo artigos e publicações, observa-se que os estudos realizados ainda são superficiais e não contemplam situações adversas e singulares que podem comprometer o bom funcionamento do sistema como um todo. Além disso, o sistema para processamento do "esterco" pode incluir várias particularidades não documentadas em artigos, que quando implementadas melhoram o desempenho do processo. Também serão efetuadas algumas observações e comparações com os processos apresentados para a suinocultura como forma de demonstrar a evolução da tecnologia.

## 1.1 OBJETIVOS

O objeto do estudo é analisar a viabilidade técnica da implementação de sistema de processamento de matéria orgânica constituído por biodigestores, tanques e filtros de separação de materiais sólidos, filtros de biogás, geradores de energia elétrica alimentados por

gás metano e adequações necessárias para operação da unidade como autoprodutor de energia elétrica.

### **1.1.1 Objetivos Específicos**

Especificamente, será processada matéria orgânica de origem vegetal proveniente da lavagem dos currais e caminhões de transporte (fezes dos animais) e da lavagem das vísceras (rúmen), além de resíduos animais do próprio processo de abate (sangue, sebo e etc.).

Será avaliada a viabilidade técnico-financeira do projeto, verificando os potenciais geradores de receita ou economia, sendo o projeto focado na geração, tratamento e conversão em energia elétrica do biogás obtido com o tratamento dos resíduos, de um frigorífico sediado no estado do Rio Grande do Sul.

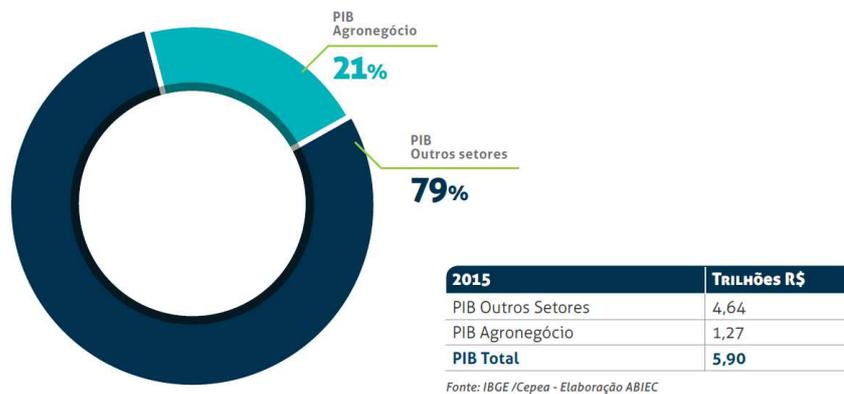
## **1.2 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso é organizado em capítulos, onde este capítulo é uma introdução. O capítulo 2 trata da potencialidade do projeto a nível nacional, verificando a quantidade de plantas frigoríficas que tenham potencial para instalação semelhante. No capítulo 3 é discriminado todo o fluxo de obtenção da matéria prima, adequações necessárias na estrutura existente, equipamentos e estruturas necessárias, entre outros, organizado de forma semelhante ao fluxo de operação do novo sistema. No capítulo 4, apresentam-se as "receitas" financeiras obtidas com o projeto e no capítulo 5 é analisado se haverá retorno financeiro com o investimento. O capítulo 6 apresenta uma análise qualitativa e analisa outros ganhos indiretos com a instalação. Por fim, o capítulo 7 apresenta as conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 POTENCIALIDADE DO PROJETO

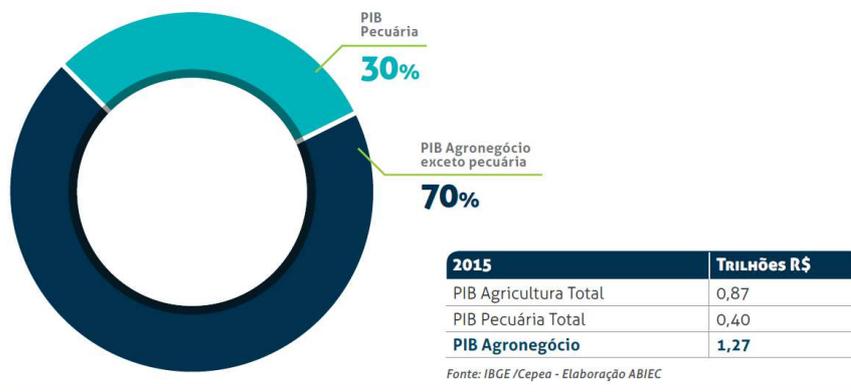
O Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil em 2015 foi de 5,9 trilhões de reais, deste total, o PIB agropecuário, que reuni as receitas referentes às lavouras, a pecuária em geral e a indústria de processamento, atingiu receita líquida de 1,25 trilhões de reais e a indústria da proteína animal, que envolve o abate e a comercialização de carnes bovinas, suínas e de aves, principalmente, movimentou cerca de 400,7 bilhões de reais, segundo dados da Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne (ABIEC).

Figura 2.1 - Representatividade do PIB do agronegócio x brasileiro em 2015.



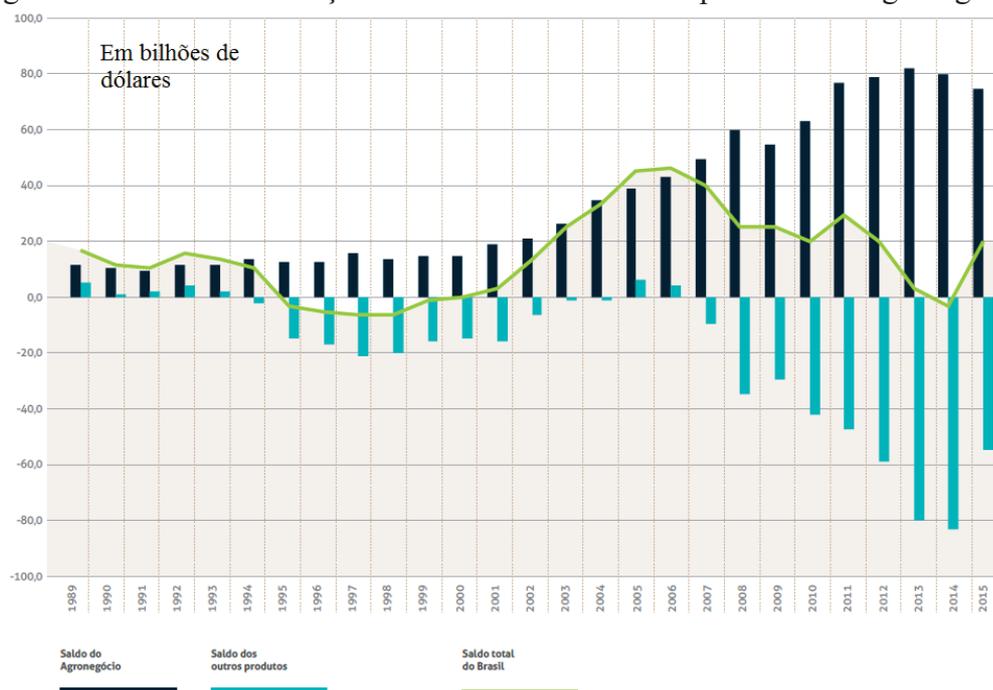
Fonte: IBGE /Cepea - Elaboração ABIEC, 2016.

Figura 2.2 - Representatividade do PIB pecuário x agronegócio brasileiro.



Fonte: IBGE /Cepea - Elaboração ABIEC, 2016.

Figura 2.3 - Saldo da balança comercial do Brasil e a importância do agronegócio.



Fonte: Agroconsult / Agrostat / SECEX / MDIC / Conab - Elaboração ABIEC

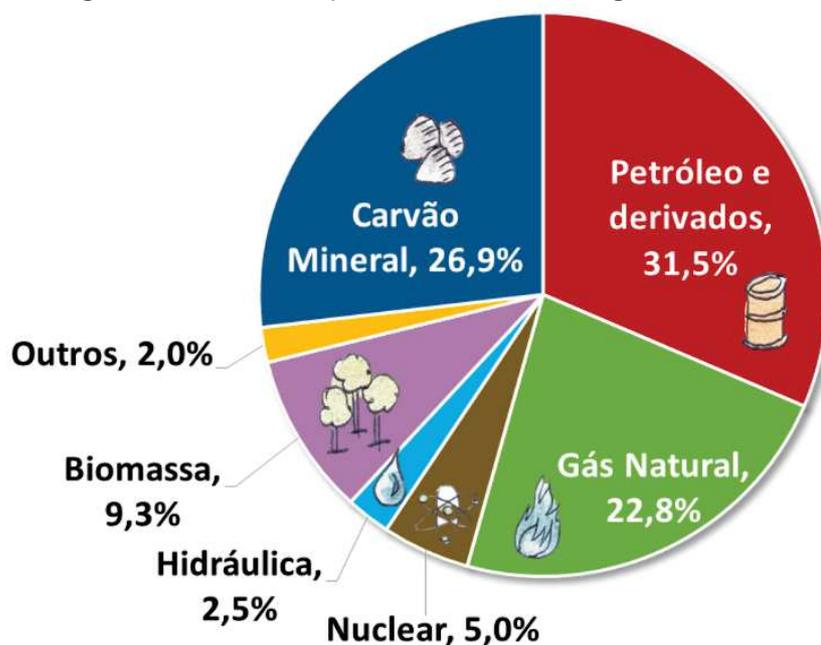
Todas as unidades de abate bovino no Brasil apresentam geração dos mesmos resíduos orgânicos em quantidade diretamente e proporcional a capacidade de abate das unidades. Os resíduos misturados na água utilizada na limpeza e processamento fabril são enviados as estações de tratamento de efluentes (ETE) das indústrias e a sua degradação biológica geram a liberação de gases como metano ( $\text{CH}_4$ ), gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) entre outros (BLANC, 2014).

O gás carbônico liberado faz parte do ciclo natural do carbono, porque ele será reabsorvido pelas gramíneas e lavouras que servirão de alimento aos animais, fechando o ciclo do carbono, contudo o gás metano não é reabsorvido por processo biológico natural.

Desde a década de 70 ocorrem discussões pelo mundo sobre a produção de gases do efeito estufa e consequentes mudanças climáticas no planeta Terra. Esses estudos demonstram que o gás metano é 23 vezes mais prejudicial ao meio ambiente que o gás carbônico, desta forma, do ponto de vista ambiental a motivação de vários estudos é controlar a emissão de gás metano, fazendo a retenção, coleta e posterior queima, transformando o metano em gás carbônico, que possui menor impacto no efeito estufa assim como ciclo fechado e renovável, como já mencionado acima (MARIANI, 2018).

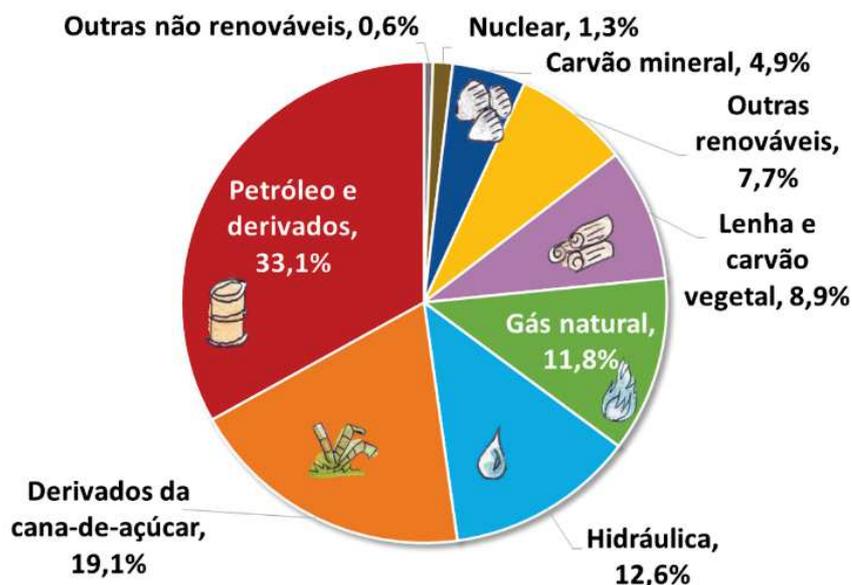
Recentemente, no Brasil, ocorreram significativos aumentos no custo da energia elétrica motivados, principalmente, pela escassez de chuvas e as prolongadas secas em algumas regiões do país. Como as usinas hidroelétricas representam aproximadamente 66% da matriz elétrica do Brasil e possuem custos de geração baixos, a necessidade de compensar a falta de chuvas requer o acionamento das fontes de reserva de energia como, por exemplo, as termelétricas movidas a gás natural e a carvão, que tem custos de geração de energia elétrica muito superior a maioria das fontes do país. A possibilidade da implementação de uma unidade própria de geração de energia elétrica é um segundo fator a ser considerado podendo, esta, financiar os custos de implementação do sistema.

Figura 2.4 - Distribuição das fontes de energia no mundo.



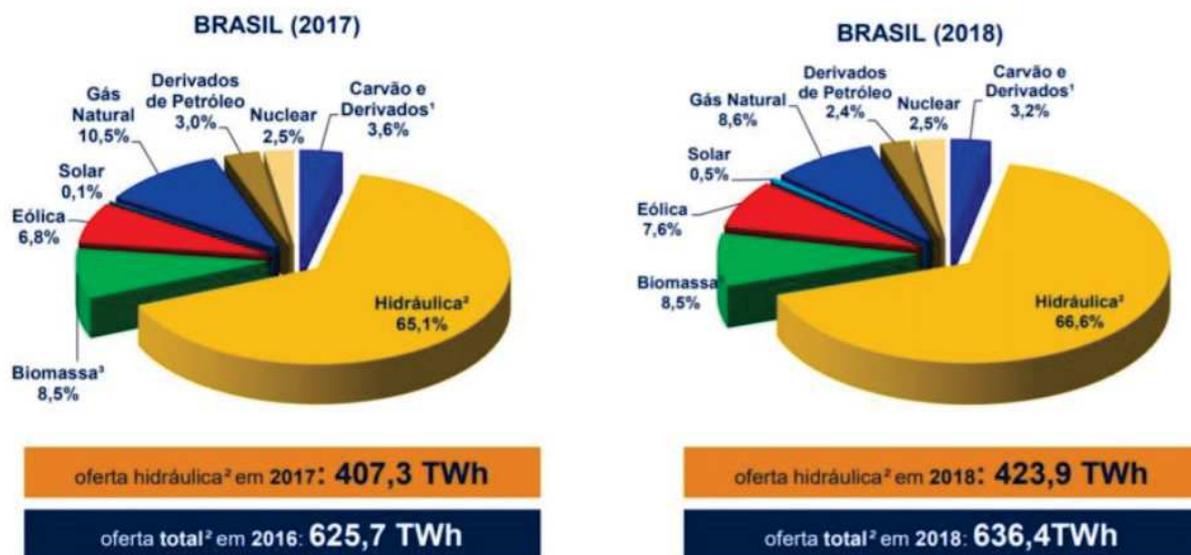
Fonte: EPE 2021.

Figura 2.5 - Distribuição das fontes de energia no Brasil.



Fonte: EPE.

Figura 2.6 - Fontes de geração elétrica no Brasil.



Fonte: Vetorlog, 2021.

O terceiro insumo obtido no processo seria o adubo orgânico de alta qualidade que é residual do processo de decomposição do "estercor". Este pode ser adicionado, de forma controlada, diretamente ao solo de áreas de plantio ou pastagem sem provocar alterações indesejadas à composição do solo. Quando adicionados in natura ao solo, os resíduos gerados

durante o processo de decomposição biológica provocam a acidificação do solo e, em alguns casos, podem prejudicar as plantas no entorno do local depositado. Normalmente os resíduos são retirados da indústria em caminhões tipo caçamba e depositados sobre o solo em locais próximos a áreas de cultivo, mantidos em processo de degradação por aproximadamente 90 dias e depois espalhados na lavoura. Porém, nesta condição, contaminam o solo no local depositado inicialmente e liberam os gases citados acima, sem controle.

Não há nenhuma "planta" de processamento deste tipo de resíduo instalada em indústrias de abate bovino no Brasil, o que existe são diversos outros tipos de processos que utilizam dejetos animais para geração de biogás, com características próprias em função da forma e origem dos resíduos.

Para esta análise, serão utilizados dados de conta de energia, fatores tributários, custo de pessoal, comportamento produtivo, entre outras informações de uma empresa sediada no estado do Rio Grande do Sul, que abate, hoje, cerca de 360 animais por dia, e que possui um projeto de ampliação da capacidade de abate para 600 animais por dia, sendo necessária, também, a ampliação das esterqueiras, lagoas de tratamento de efluentes e outros.

## 2.1 PROCESSAMENTO DE PROTEÍNA ANIMAL

As principais indústrias de processamento de proteína animal no Brasil são de abate de bovinos, aves e suínos. O país também possui, em menor quantidade, frigoríficos que abatem cabras, ovelhas, coelhos, patos e marrecos.

Cada seguimento possui particularidades no processo produtivo desde a criação, engorda e processamento dos animais.

### 2.1.1 Seguimento de aves

Na indústria de processamento de aves pode-se afirmar que quase a totalidade da criação é efetuada em processo de confinamento em aviários apropriados, tanto na criação das matrizes, produção de ovos e pintos, quanto no crescimento e engorda dos animais. O conceito de produção integrada entre o produtor e a agroindústria é o sistema mais empregado, onde a indústria fornece os pintos, medicação e alimentação completa, além de apoio financeiro, transporte, entre outros itens, cabendo ao agricultor fornecer o aviário,

manejo dos animais, higienização, processo de alimentação, manutenção da temperatura, entre outras atividades durante o desenvolvimento e engorda dos animais.

Figura 2.7 - Aviário Dark-House



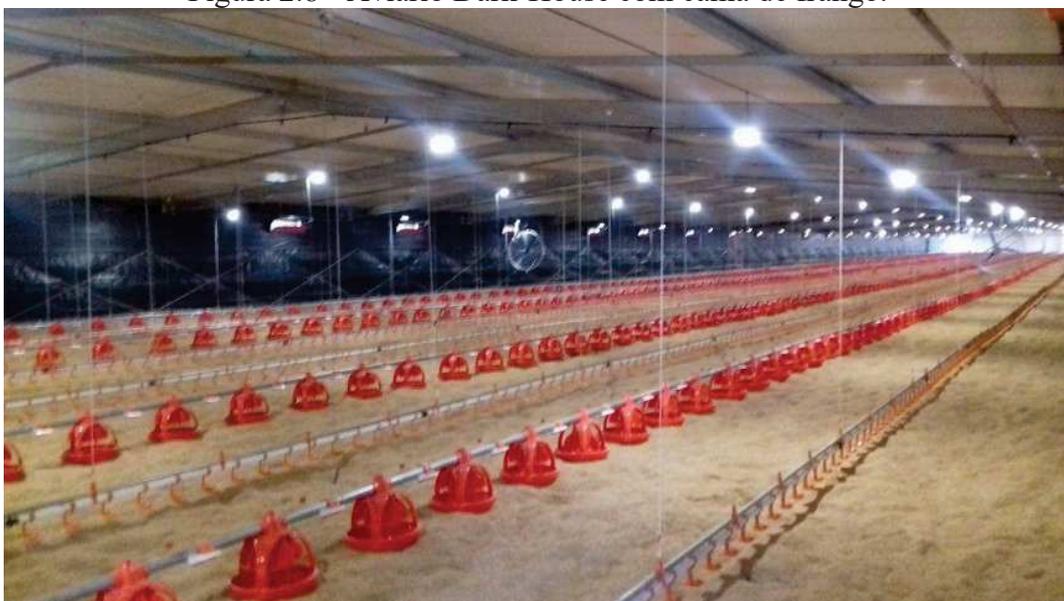
Fonte: Vetorlog, 2021.

A base alimentar é a ração preparada pelas empresas, que é composta principalmente por milho, farelo de soja e, em menor quantidade, farinha de carne, pena e sangue obtidos através do processamento dos resíduos das próprias aves, óleo de soja, farelo de arroz, carvão vegetal e aditivos nutricionais.

Para conforto dos animais, sobre o piso dos aviários, que são normalmente de concreto, é depositada uma camada de serragem de madeira ou palha de arroz (os mais comuns) comumente chamada de cama de frango ou cama de aviário, a qual é responsabilidade do integrador. Durante o processo de crescimento e engorda as aves defecam sobre o material de cobertura que, normalmente, a cada 3 (três) ou 4 (quatro) lotes de aves produzidas tem de ser substituída. As aves excretam grande quantidade de ácido úrico que se acumula juntamente com as fezes na cama de frango, o que a torna altamente nitrogenada e com valor econômico bastante atrativo, tendo geralmente até valor maior que o material virgem (palha de arroz ou serragem) que é utilizada nas lavouras, aplicado diretamente sobre

o solo sem tratamento inicial ou compostagem, como substituto da ureia industrial, tendo um resultado para o desenvolvimento das plantas superior ao obtido com a utilização de ureia artificial. Esta condição torna o processamento da cama para outros fins pouco atrativo porque a matéria prima tem custo relativamente alto e também não a torna um passivo por causa do valor nutricional como fertilizante. Também, antes dos animais serem enviados para a agroindústria eles são submetidos a um período de 36 horas sem receber alimentação (vazio sanitário), sendo assim, praticamente não há eliminação de fezes no transporte e na indústria.

Figura 2.8 - Aviário Dark-House com cama de frango.



Fonte: Vetorlog, 2021.

### 2.1.2 Suínos

Na suinocultura as condições são um pouco distintas. Na relação entre a agroindústria e o produtor integrado, o processo de criação das matrizes, criação dos filhotes, crescimento e engorda, bem como a base alimentar dos animais é semelhante ao apresentado para as aves, mas em alguns casos, é comum que o processo, incluindo a compra da alimentação, seja feita diretamente pelo produtor, ou seja, são produtores independentes efetuando a venda para os frigoríficos quando os animais estão "finalizados".

Independente da relação de produção, as fezes dos porcos constituem um grande problema ambiental. Neste caso não é utilizada a cama, o animal é mantido sobre piso,

normalmente de concreto, defecando diretamente sobre este, sendo necessária a lavagem constante do piso, empregando grande quantidade de água no processo.

Antigamente o descarte era efetuado diretamente em rios ou em lagos não apropriados para este fim, gerando grande contaminação ambiental dos corpos d'água e lençóis freáticos. Atualmente, na maioria das propriedades, principalmente as que operam em regime de integração com a agroindústria, são adotados processos de tratamento dos resíduos por diversos modelos distintos, entre eles o sistema de decantação em lagoas apropriadas, tanques anaeróbicos, integração com piscicultura, processos de compostagem e geração de biogás, inclusive com a produção de energia elétrica.

Os suínos quando "finalizados" também passam por um período de 36 horas sem alimentação antes do envio para a agroindústria, sendo que a maior parte dos dejetos são gerados ainda nas granjas, portanto este é o local de maior relevância para instalação de processos de tratamento dos dejetos. Os projetos de compostagem são bastante empregados nas granjas, onde se concentra a geração de matéria orgânica.

A quantidade de matéria orgânica gerada na indústria é pequena, e mesmo havendo a necessidade de tratamento dos efluentes, o volume de gás gerado não viabilizaria os investimentos.

Figura 2.9 - Granja de suínos.



Fonte: CNN Brasil.

### 2.1.3 Bovinos

Os processamentos de carne bovina, e podendo-se incluir a bubalina, equina e caprina, apresentam ciclo de produção diverso dos apresentados anteriormente. No Brasil mais de 95% do plantel é criado em pastagens naturais ou cultivadas, e uma pequena parte em processo de confinamento, onde a alimentação é parecida com a dos suínos e aves. A alimentação dos animais criados a campo é à base de gramíneas, totalmente diferente da alimentação apresentada anteriormente, podendo haver a complementação com ração industrial, porém em proporção bem inferior ao volume de pastagem consumida diariamente.

Para os animais criados no campo, ou em processo de semiconfinamento, os dejetos são eliminados diretamente no campo, de forma distribuída, sendo inviável a coleta para processamento nas unidades produtoras.

Algumas unidades possuem processos de engorda e finalização em sistema de confinamento, mais comumente utilizado para a criação de gado leiteiro, ou ainda, somente no período noturno. Nestas unidades o processamento do esterco pode ser tratado de forma análoga a dos suínos e não será abordado neste estudo.

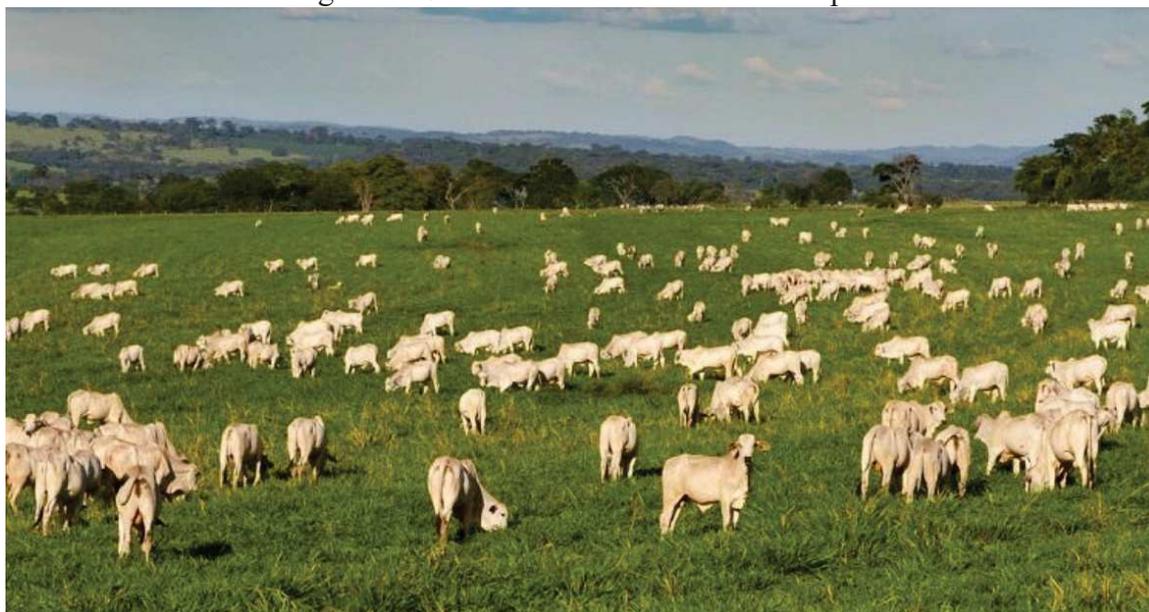
O confinamento no Brasil representa em torno de 5% do volume total de animais.

Diferente dos processos anteriores, os bovinos são capturados e encaminhados diretamente para a indústria não passando por nenhum processo prévio nas propriedades produtivas, desta forma seus estômagos e intestinos se mantêm cheios de alimento e dejetos.

Os caminhões e carretas boiadeiros utilizados para o transporte dos animais são especialmente projetados para reter as fezes evacuadas durante o transporte entre a propriedade e a indústria, sendo limpos apenas no final do percurso.

Devido às características apresentadas acima, o estudo do projeto necessita ser particularizado, não podendo outros modelos serem tomados como parâmetros absolutos para avaliação técnico-financeira do projeto.

Figura 2.10 - Rebanho de bovinos no campo.



Fonte: EPE.

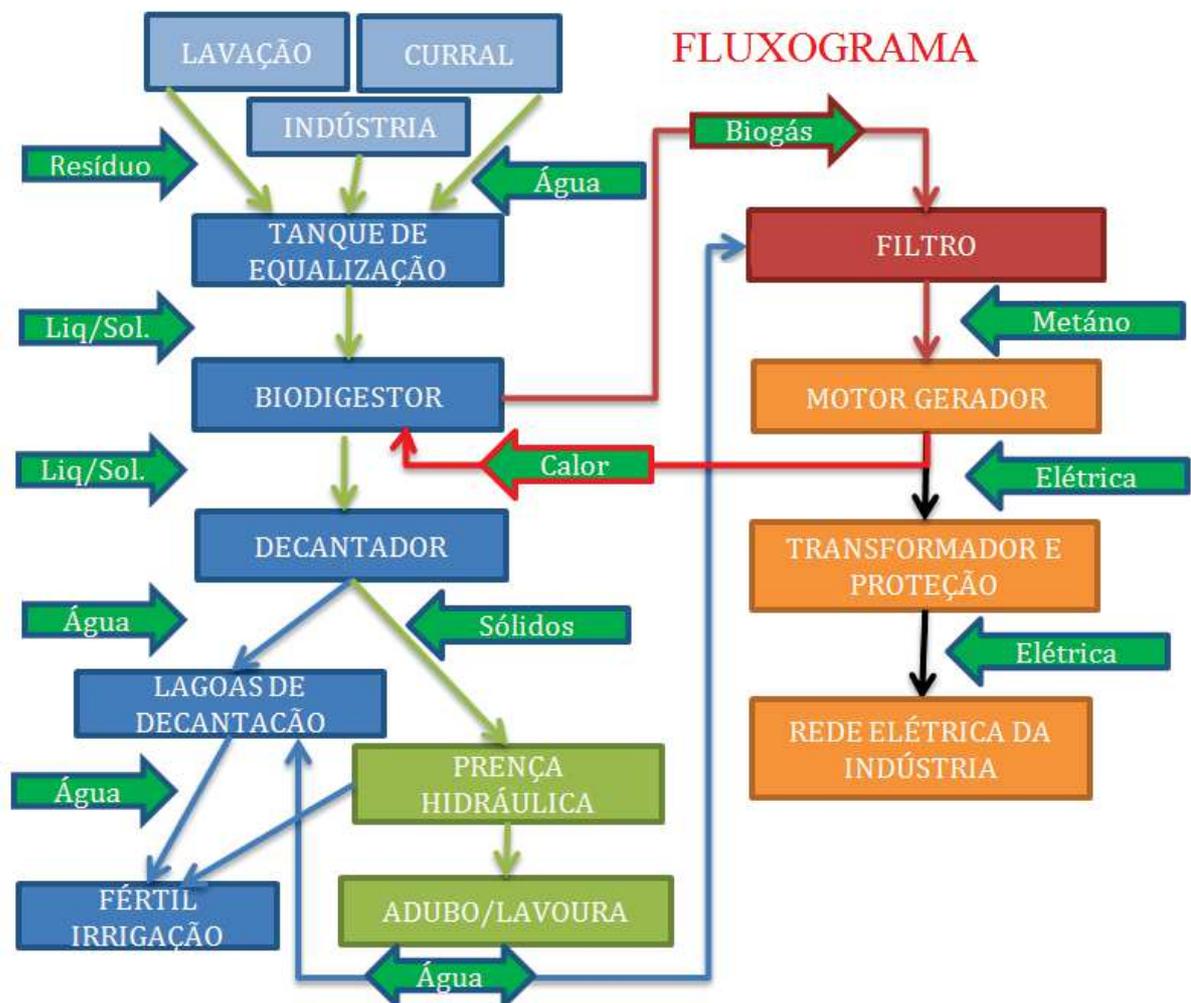
No capítulo seguinte será efetuado o detalhamento das etapas para implementação do projeto.

### 3 DESCRIÇÃO DO PROJETO

No fluxograma da Figura 3.1 são apresentadas as principais etapas do processamento e conversão dos resíduos em energia elétrica, que é a destinação final deste projeto.

Na sequência será particularizada cada etapa do projeto, além da apresentação de análises e procedimentos que deverão ser observados no processo.

Figura 3.1- Fluxograma básico do projeto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.1 DOS INSUMOS A SEREM PROCESSADOS

Para elaboração da análise técnico-financeira foram obtidas informações de processos existentes e práticas cotidianas da indústria, dados técnicos utilizados nos órgãos de fiscalização, dados da indústria, comparações entre outras formas de processamento, os volumes de matéria prima disponíveis produzidas mensalmente em um frigorífico de abate de bovinos, entre outros.

A capacidade de abate dos frigoríficos está diretamente ligada a questões sanitárias e o volume diário é restrito ao estabelecido na licença operacional emitida pelo órgão de fiscalização agropecuária nacional, estadual ou municipal. Esta condição faz com que haja uma constância mensal de produção de resíduos diretamente proporcionais ao volume abatido em cada indústria.

Quanto ao peso, sexo e tamanho dos animais, que também poderiam afetar o volume produzido diariamente, a variabilidade é grande, não havendo homogeneidade no padrão de chegada dos animais e não sendo necessário levar em consideração este fator.

Os resíduos são gerados em vários estágios da produção e encaminhados diretamente através de dutos para um tanque de retenção denominada esterqueira, projetado inicialmente para reter a matéria orgânica e separá-la da água por processo de decantação.

O primeiro local de coleta vem da lavagem dos caminhões boiadeiros utilizados no transporte dos animais entre o pecuarista produtor e a unidade de beneficiamento. Estes possuem estrutura que proporcionam a retenção das fezes e urina excretadas pelos animais durante o transporte. Por norma, este material não pode ser liberado nas estradas e tem que ser coletado e destinado de forma correta no final de cada ciclo de transporte.

Na Figura 3.2 apresenta uma foto de um caminhão boiadeiro utilizado no transporte dos animais entre as fazendas e a indústria.

No estabelecimento, os animais são colocados em currais, área com diversas repartições, onde são separados os animais oriundos de cada produtor, sendo estes identificados para que durante o processo de abate possa ser auferido o seu peso, de forma a se determinar o valor a ser pago ao respectivo produtor. Os animais ficam retidos nos currais por no mínimo 36 horas para desestressar após o recolhimento, manejo e transporte, e também

para ocorrer o vazio sanitário que é a redução do volume de rúmen e fezes nos estômagos e intestinos, caracterizando o segundo ponto de coleta.

Figura 3.2 - Caminhão boiadeiro



Fonte: Elaborada pelo autor.

No estabelecimento, os animais são colocados em currais, área com diversas repartições, onde são separados os animais oriundos de cada produtor, sendo estes identificados para que durante o processo de abate possa ser auferido o seu peso, de forma a se determinar o valor a ser pago ao respectivo produtor. Os animais ficam retidos nos currais por no mínimo 36 horas para desestressar após o recolhimento, manejo e transporte, e também para ocorrer o vazio sanitário que é a redução do volume de rúmen e fezes nos estômagos e intestinos, caracterizando o segundo ponto de coleta.

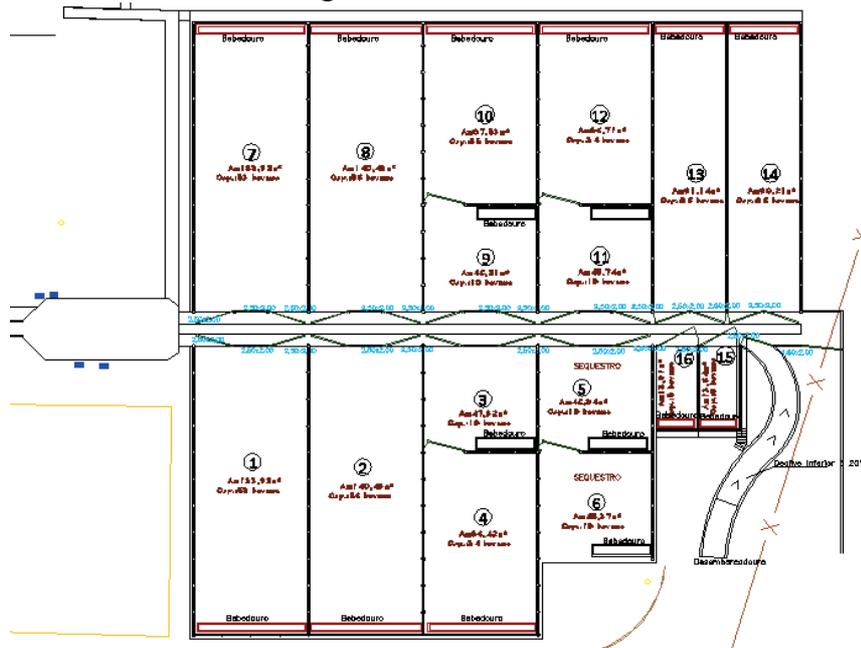
Na Figura 3.3 tem-se a planta baixa dos currais.

O terceiro ponto de coleta ocorre durante o processo de abate, onde os denominados miúdos brancos, entre eles os 4 (quatro) estômagos, o intestino fino ou delgado, e o intestino grosso são retirados em área apropriada da indústria e separada das demais áreas de processamento. Os estômagos ou buchos são abertos e lavados retirando-se todo o conteúdo ruminal e qualquer resíduo de alimento que o animal tenha consumido, e caracteriza-se pelo maior volume de material retirado no processo.

O quarto ponto vem da limpeza dos intestinos, que são abertos, virados do avesso, e limpos com água corrente, em geral auxiliados por máquinas específicas.

Há outros resíduos, como sebo e gordura misturados a água, dejetos humanos (banheiros) entre outros que são coletados separadamente. O volume destes resíduos orgânicos é consideravelmente menor que os destacados acima, mas também seguirão para o biodigestor e contribuirão para a geração de gases.

Figura 3.3 - Planta baixa currais



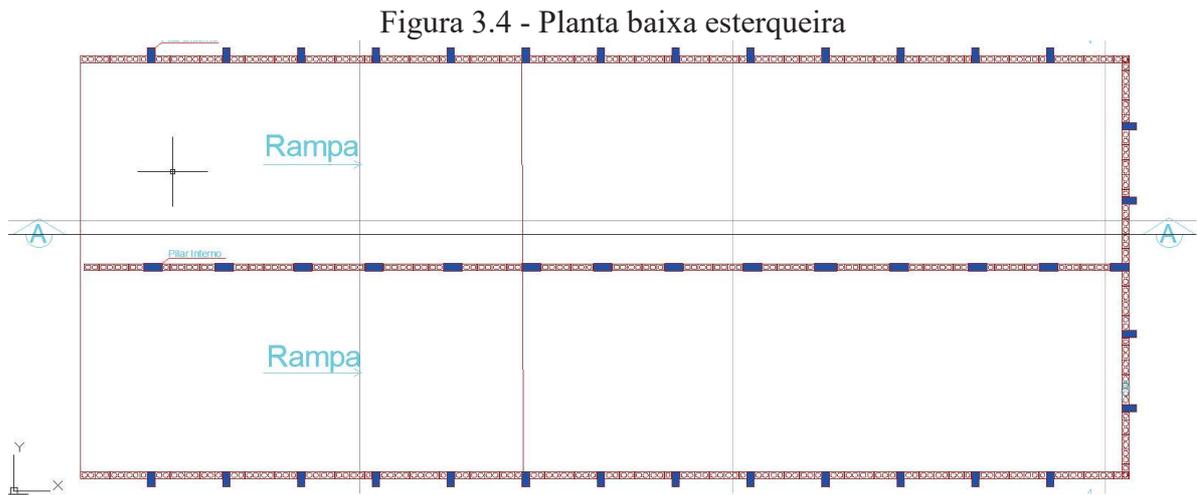
Fonte: Elaborada pelo autor.

Outro insumo que será utilizado é o sangue. Em função do baixo volume de massa sólida em relação ao volume total, ou seja, por possuir muita água, ele não tem valor comercial e é doado para fábricas de produção de ração animal, como forma de destinação correta. Posteriormente será explicado o porquê da sua utilização.

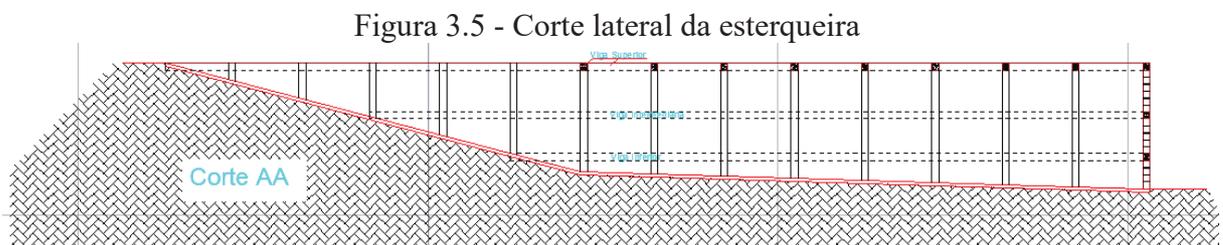
Após a coleta dos resíduos, estes são encaminhados para uma das esterqueiras de um total de duas, que são tanques de concreto projetados de forma a permitir a retenção e fácil retirada dos materiais sólidos. Elas são utilizadas em forma de rodízio, os resíduos caem no tanque e vão acumulando durante, aproximadamente, 30 dias de operação. Quando a unidade está praticamente cheia o processo passa para a outra esterqueira. Na primeira o insumo fica retido em decantação até que a segunda esteja quase cheia, quando então, o material em decantação da primeira é retirado com o auxílio de tratores e caminhões de transporte e

utilizados na agricultora como adubo. O ciclo vai se repetir com a segunda esterqueira completando ciclos periódicos.

Na Figura 3.4 é apresentado a planta baixa do projeto da esterqueira, e na Figura 3.5 um corte lateral.



Fonte: Elaborada pelo autor.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Este é o processo de coleta de matéria orgânica que acontece atualmente na empresa.

### 3.2 DA MATÉRIA PRIMA

Conforme apresentado acima, o estudo se baseia em dados práticos e teóricos visando à viabilidade da implantação do projeto em uma unidade de abate e processamento de bovinos, sendo que a capacidade máxima prevista na ampliação da unidade é de 600 animais dia.

O estudo será baseado no processamento médio de 550 unidades dia, considerando assim possíveis sazonalidades na produção.

### 3.2.1 Resíduos sólidos

O principal volume de material orgânico oriundo do processo de abate de bovinos e similares é o conteúdo ruminal e as fezes, sendo que o maior volume é de rúmen, oriundo do esvaziamento e limpeza do trato digestivo dos animais.

Em estudo financiado pelo ministério da agricultura e pecuária (MEDEIROS, 2019) e outros analisados, para animais em confinamento, a produção de fezes diárias por animal foi estimada em 43 kg de material úmido por dia, podendo variar com a idade e peso dos animais.

Porém, para os animais no abate o entendimento aceito é que o volume de matéria orgânica é maior, por incluir todo o alimento contido nos estômagos e intestinos, além do material defecado no transporte e durante o período de vazio sanitário. O volume considerado neste caso é aproximadamente 50 kg de matéria úmida por animal.

Este volume, inclusive, é o considerado no licenciamento ambiental e operacional da empresa (Fepan e Dipoa). Desta forma estima-se que:

$$550 \times 50 \text{ kg} = 27.500 \text{ kg} \quad (1)$$

A produção estimada será de 27.500 kg de massa úmida por dia, estima-se que esta massa apresenta cerca de 20% do total seja de material sólido, basicamente matéria orgânica processada ou parcialmente processada pelo sistema digestivo dos animais. Tem-se, então:

$$27.500 \text{ kg} \times 20\% = 5.500 \text{ kg} \quad (2)$$

Espera-se a obtenção de 5.500 kg de massa seca (sem umidade) por dia útil.

Também podem ser acrescentados ao volume, resíduos de sebo e carnes não processados, sangue e dejetos humanos.

### 3.2.2 Água

Normalmente são utilizados entre 1.500 a 2.500 litros de água por animal abatido, que se caracteriza por um volume de água muito superior ao necessário para o sistema de tratamento proposto. Contudo, uma parte considerável da água é utilizada em setores que geram uma mistura de água e materiais sólidos com volume de matéria orgânica associada

muito pequena, menos de 0,1% em volume. Neste caso, a água será encaminhada diretamente para as lagoas de decantação, não passando pelos digestores.

A empresa possui homologação dos órgãos ambientais para utilizar a água residual do processo em um sistema de fértil irrigação, em pastagens pertencentes à empresa, localizadas nos arredores da unidade fabril, sendo que a concentração de matéria orgânica presente na água que não será utilizada no projeto, pode ser, inclusive, aplicada diretamente sobre a pastagem sem qualquer prejuízo a esta ou ao meio ambiente.

No processo de biodigestão é necessário que a concentração de sólidos em volume seja menor que 5% do volume total. Trabalhou-se no estudo com uma concentração de 1% a 2% e, desta forma, é estimado a utilização de aproximadamente 100 litros de água por kg de massa seca, ou 550.000 litros por dia de água.

No processo foi observado que a água misturada e coletada com fezes, sangue, sebo e cloacais possuem concentração de matéria orgânica maior que a desejada, e a coleta é feita por tubulações e redes separadas da água mais "limpa", não havendo necessidade de alterações na estrutura existente. O provável é que parte da água mais "limpa" também tenha que ser utilizada no processo de biodigestores para se atingir a diluição desejada. Neste caso se prevê a instalação de uma tubulação, conectando a rede de água "limpa" à esterqueira e a instalação de uma válvula eletropneumática que poderá ser controlada por sistema automatizado e programável ou com a utilização de sensores para determinar o ajuste do volume de água. O fluxo será por gravidade não necessitando sistema de bombeamento.

Estima-se também, que cada animal tenha em média 8,2 litros de sangue. A temperatura da água também é um fator importante inicialmente, a água utilizada é oriunda de poços artesianos, tendo uma temperatura constante ao longo do ano de aproximadamente 18°C.

### 3.3 ESTERQUEIRA (TANQUES DE EQUALIZAÇÃO)

A função da esterqueira foi apresentada anteriormente, para a implementação do sistema de compostagem a esterqueira será o ponto de partida do projeto, até esta etapa não há necessidade de alterações significativas na estrutura existente ou quando da ampliação.

Atualmente a esterqueira tem a finalidade de decantar o material sólido. No sistema de compostagem esta será utilizada como tanque de equalização, onde a mistura será depositada por um período de 24 horas. Será instalado em cada tanque 3 (três) agitadores para manter o material sólido misturado com a água, condição totalmente oposta ao projeto original da esterqueira.

A manutenção do material por 24 horas e a constante homogeneização no tanque é para que ocorra o processo de eliminação de CO<sub>2</sub> presente naturalmente na composição do material. A intenção é melhorar a concentração de metano no volume total do gás produzido ao final do processo.

Nos pequenos sistemas instalados na suinocultura este procedimento não é realizado, e os resíduos são enviados diretamente para os biodigestores. Após o período de 24 horas o material será enviado ao biodigestor, neste caso por gravidade aproveitando o desnível existente no terreno da empresa.

Cada esterqueira existente tem capacidade de armazenamento de aproximadamente 650.000 litros de água, para uma demanda necessária de 600.000 litros considerando um abate de 600 animais dia. Neste caso, não será necessário a construção de nova estrutura, quando da ampliação da unidade da capacidade atual de 360 para 600 animais dia. Caso não seja implementado o biodigestor em análise, será necessária a duplicação da área das esterqueiras.

### 3.4 BIODIGESTOR

Na sequencia, será apresentado e discriminado o funcionamento do biodigestor.

#### **3.4.1 Considerações**

Biodigestores são estruturas projetadas e construídas de modo a promover a degradação biológica da biomassa residual sem que haja qualquer tipo de contato com o ar atmosférico, ou seja, é um sistema fechado, isolado e controlado.

Isso proporciona, com o devido controle, condições para que alguns tipos especializados de bactérias anaeróbicas, altamente consumidoras, passem a predominar no meio e, com isso, provoquem uma degradação mais acelerada da matéria orgânica. "Os

biodigestores recebem efluentes líquidos e sólidos, gerando um ambiente propício a formação de gases" (RESENDE, 2015).

Devido à ação dos microrganismos, a decomposição da matéria proporciona a liberação de uma mistura de gases, chamado de Biogás, que fica armazenado na área livre da cúpula do biodigestor, nesse caso, transformado em um gasômetro de acumulação. Após essa transformação, o biogás é canalizado e pode ser utilizado para diversos fins, como processos de aquecimento ou resfriamento e geração de energia elétrica (JÚNIOR, 2009).

Além disso, o processo de biodigestão transforma todas as características dos afluentes, para que este possa liberar efluente com redução do potencial poluidor, entre 70% e 80% da carga orgânica – isso em DBO (demanda biológica de oxigênio), ou até mesmo em Demanda Química de Oxigênio (DQO); redução do potencial de contaminação infectocontagioso em mais de 90%, se acoplado a lagoas de estabilização; produção de efluente final estabilizado, apresentando baixa relação carbono/nitrogênio (10:1), indicando material praticamente inerte e PH entre 6,5 e 7,5 com ausência de cheiro e sem atração de moscas (JÚNIOR, 2009).

Os modelos de digestores são diversos, mas basicamente são de dois tipos:

- O primeiro é o estático, neste o material é colocado no digestor, completado com água e fechado, ficando assim até que o ciclo de digestão seja finalizado. O gás tem que ser utilizado para que o digestor possa ser aberto e a água e material remanescente sejam retirados.
- O segundo modelo é o contínuo, possui formato geralmente retangular, com dimensões adequadas e semelhante a uma piscina, coberto por uma lona ou película, normalmente de borracha flexível, e hermeticamente vedado. O material é colocado em uma das extremidades do digestor por mecanismo que depende da matéria prima utilizada, e a própria concentração de material em uma extremidade empurra o material orgânico para a outra extremidade do tanque. No lado oposto outro mecanismo retira, por baixo, os materiais remanescentes e a água, sendo encaminhados a processos de separação.

O gás que é liberado durante a digestão anaeróbica acumula entre a película e a água (gasômetro) podendo ser coletado e utilizado.

Alguns fatores afetam o volume e a qualidade do gás obtido, um é a variabilidade do material processado, quanto maior a variabilidade pior é a produção de gás, podendo em casos extremos, até ocorrer a morte de todas as bactérias do sistema.

Utilizam-se bactérias especializadas para cada tipo de material, que em condições adequadas, produzem a máxima formação de metano. Para o caso em questão a matéria possuirá características continuamente semelhantes que favorecem o processo.

Segundo a BSG equipamentos, fabricante de biodigestores, a temperatura ideal, em geral, fica em torno de 28°C a 35°C. A temperatura afeta o percentual de metano gerado e a velocidade do processo de digestão, alterando o tempo de retenção e, conseqüentemente, o tamanho do digestor. A temperatura da mistura de água e matéria prima deve variar entre 15°C e 21°C, dependendo da época do ano.

O pH, para rendimento ótimo, deve ficar na faixa de 6,6 a 7,4, e fora desta faixa tende a reduzir o desempenho do processo. A decomposição da matéria orgânica tende a reduzir o pH da solução. A água utilizada no processo, naturalmente, tem pH em média de 8,8 e os testes realizados nas lagoas de decantação apontam pH de 6,8, em média. Estima-se que no novo processo deva ficar dentro da faixa ideal.

Dentro do biodigestor, ocorrem dois fenômenos que justificam a agitação:

- A primeira, onde as bactérias formam colônias isoladas, ou seja, como a concentração de matéria orgânica não é uniforme as bactérias se reúnem e se multiplicam onde há mais alimentos;
- A segunda, o biogás produzido pelas bactérias fica preso ao seu redor e quando há muito biogás em sua volta, inibe-se a produção de mais biogás.

A agitação, quando realizada de forma adequada, faz com que o biogás ao redor das bactérias seja liberado e permite formação de novas colônias, porque “desmancha” as colônias existentes e isoladas e coloca as bactérias em contato com toda a matéria orgânica (RESENDE, 2015. EMBRAPA, 2006).

O biodigestor precisa ser dimensionado para que o tempo de permanência do material dentro dele seja, no mínimo, de 21 dias. Se o tempo for inferior, a carga de nutrientes ainda será alta, podendo ocasionar mau cheiro e o fertilizante obtido poderá ser de baixa qualidade.

A concentração ideal de matéria orgânica deve ser de, no máximo, 5% do volume total. Na avaliação inicial, a concentração de matéria orgânica ficou maior que o recomendado. Contudo, a maior parte da água utilizada no processo não passa pela esterqueira, e assim será possível ajustar a concentração de material sólido, ao nível adequado, utilizando a água que seria encaminhada para as lagoas de decantação diretamente.

A descrição acima agrega as melhores condições de funcionamento e desempenho do biodigestor, sendo o projeto desenvolvido com a finalidade de atingir plenamente as condições desejáveis.

### **3.4.2 Estrutura**

#### *3.4.2.1 Do volume*

Para o projeto foi considerada a construção de um biodigestor com tanque de retenção em concreto armado, base plana e utilização na condição contínua. Considerando o abate de 600 animais dia e tempo mínimo de retenção de 21 dias, será necessário um digestor com capacidade de 9.000 m<sup>3</sup>.

Previu-se a construção de um digestor retangular com dimensões de 200 metros de comprimento por 60 metros de largura e 1,2 metros de altura, sendo 1 metro de altura útil (12.000 m<sup>3</sup>). Nesta condição, mesmo considerando a capacidade máxima de abate, ter-se-ia um tempo de retenção mínima de 26 dias, o que proporciona um ótimo aproveitamento da matéria orgânica e a obtenção de um adubo de alta qualidade.

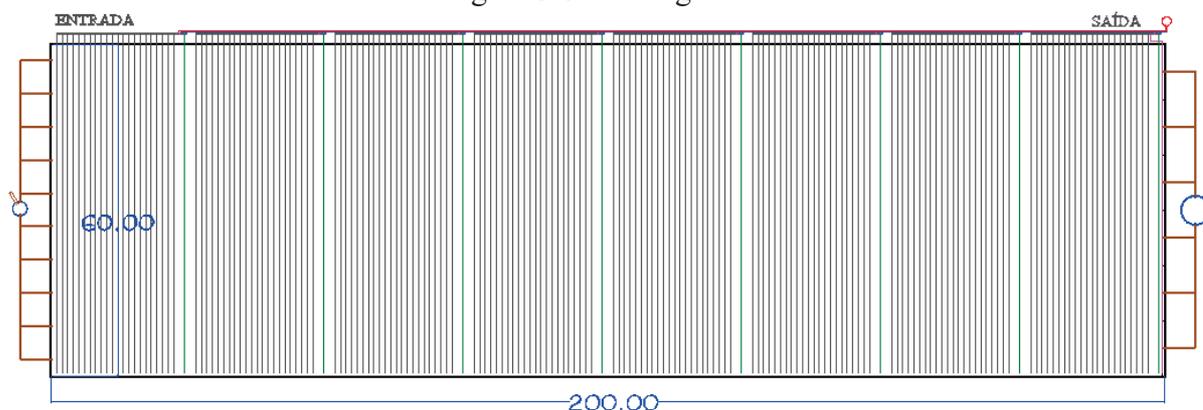
A estrutura será montada e enterrada diretamente sob o solo, sendo que, a parte superior do tanque ficará praticamente ao nível do solo, o que reduz o custo da estrutura, mesmo havendo a necessidade de escavação do terreno.

Haverá, também, a necessidade de estaqueamento adequado da base, em função do peso considerável da estrutura.

Para a cobertura será utilizado um "balão" de borracha flexível, devidamente fixado sobre a estrutura de forma a gerar uma estrutura hermética. Após o início da operação não há necessidade de acesso ao interior do biodigestor.

A Figura 3.6 apresenta uma planta baixa do biodigestor, demonstrando as dimensões, a entrada e saída de mistura e dutos do sistema de agitação e aquecimento do equipamento.

Figura 3.6 - Biodigestor.



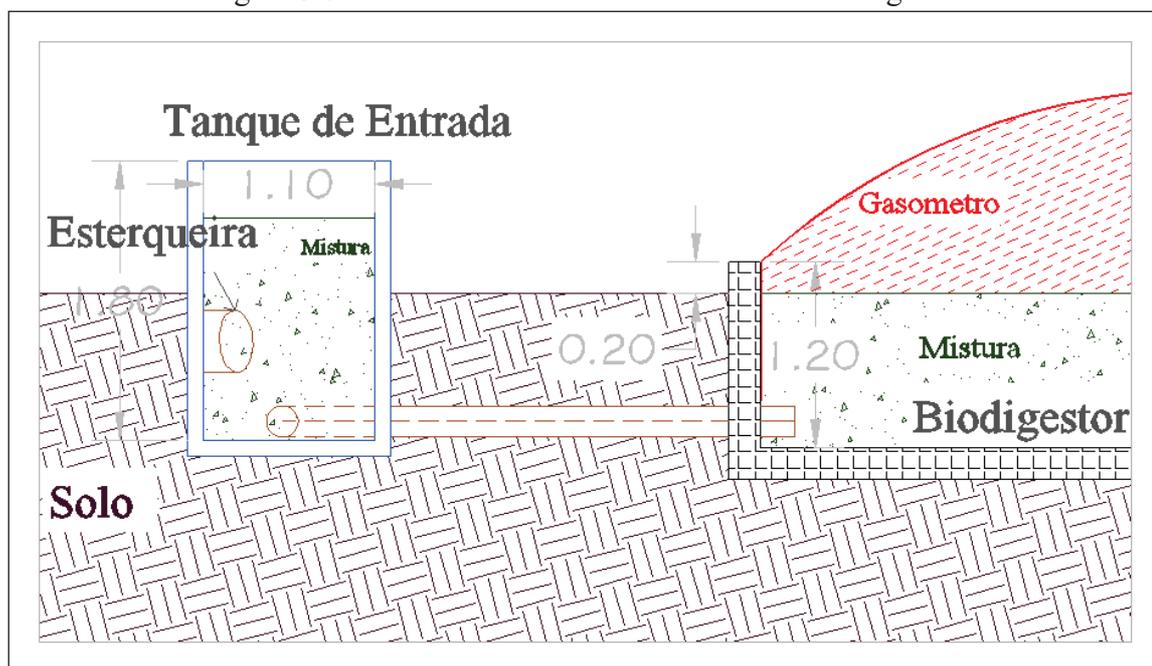
Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 3.4.2.2 *Entrada de material*

No início do digestor será instalada uma caixa de concreto com capacidade de 2.000 litros, centralizada em relação ao diâmetro do tanque do digestor, que receberá a mistura por uma tubulação de 400 milímetros de diâmetro, ligando a esterqueira ao digestor. Desta caixa sairão 2 (duas) tubulações de 200 milímetros de diâmetro cada, com 10 saídas laterais em forma de "pente", objetivando a homogeneização na distribuição da mistura na secção transversal inicial do digestor (60 m).

Com a caixa e a tubulação será criada uma coluna de mistura suficiente para forçar a movimentação e impedir que os gases saiam de dentro do digestor.

Figura 3.7 - Corte lateral entrada de mistura no biodigestor



Fonte: Elaborada pelo autor.

### 3.4.2.3 Agitação

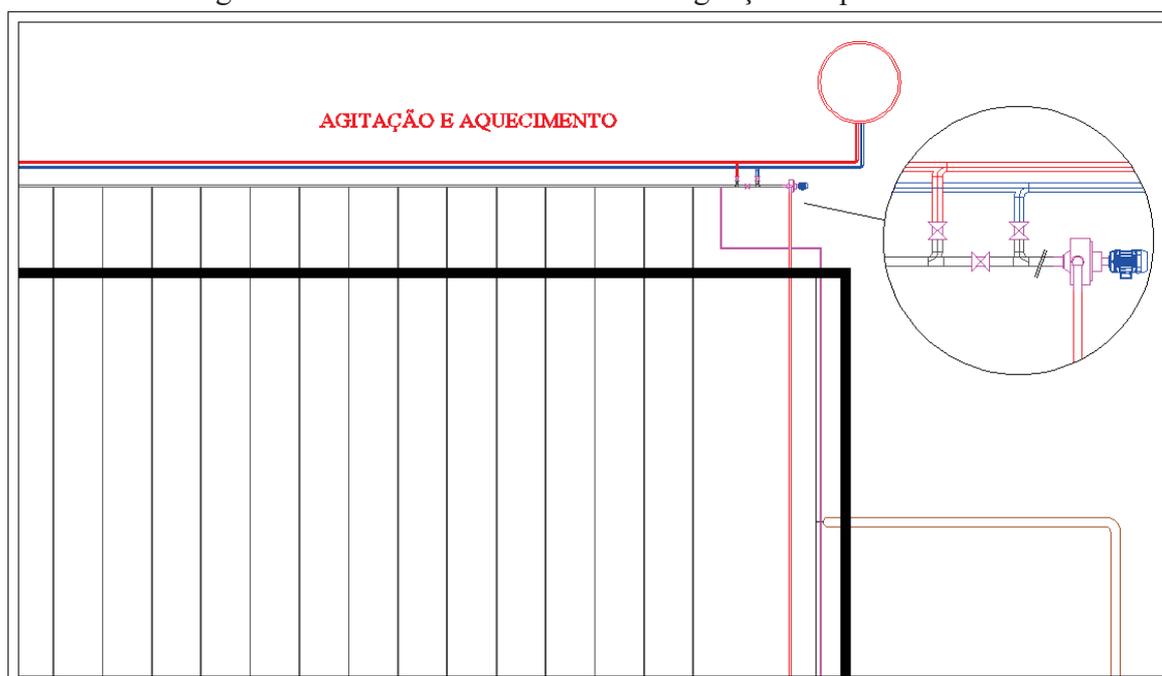
A agitação, neste caso, será realizada por sistemas de bombeamento de água devidamente instalados no digestor (ver Figura 3.6). A mistura será coletada a intervalos regulares no digestor e utilizada para efetuar a agitação da água. Mesmo contendo material orgânico sólido, a mistura não afeta o funcionamento das bombas rotativas, visto que atualmente são utilizadas bombas deste tipo no processo.

Está previsto a instalação de 8 (oito) conjuntos, compostos por bombas, tubulações e válvulas, em intervalos regulares do tanque. Será instalado um ponto de coleta de água dentro do digestor, e a água coletada será bombeada através de uma tubulação contendo um ramal principal e 22 derivações laterais em forma de um pente, com intervalo de 1 metro entre cada derivação e 3 metros de separação entre cada sistema, de tal maneira que cada conjunto cobre 25 metros. Dentro do digestor, os tubos de PVC serão furados a cada 1 metro, perfazendo os 60 metros da secção transversal do tanque, desta forma, a cada metro haverá uma saída de água.

Não há necessidade de uma grande movimentação, a agitação é leve e não é necessário ser contínua, devendo ser feita a intervalos regulares e intercalados entre descanso e acionamento, com uma bomba sendo acionada de cada vez.

A Figura 3.8 demonstra o detalhamento do sistema de agitação e aquecimento do biodigestor, o conjunto de válvulas de controle é o motor são destacados para melhor entendimento do processo.

Figura 3.8 - Detalhamento sistema de agitação e aquecimento.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Serão utilizadas bombas de 5 cv, configuradas para vazão. Como não há necessidade de pressão de água, pois não haverá coluna d'água, a estimativa de vazão será de 100 m<sup>3</sup> a 120 m<sup>3</sup> de água por hora, para cada bomba.

Será previsto também uma automação descrita a seguir.

#### 3.4.2.4 Controle de temperatura

O processo naturalmente é exotérmico, provocando a elevação da temperatura do digestor em cerca de 5°C a 10°C, que provavelmente será insuficiente para atingir a temperatura ótima de operação no inverno, quando as temperaturas externas são mais baixas.

Para obter a temperatura ideal, pode-se utilizar o calor residual produzido pelos motores dos geradores de energia (GMG), tanto da água do sistema de resfriamento (sistema de radiador) quanto da saída do escapamento,

Ao lado do gerador, um trocador de calor em forma de tanque com serpentinas, fará a troca térmica, em sistema fechado, entre a água do gerador, que passará por dentro da serpentina, e a do digestor que ficará circulando dentro do tanque.

A água do gerador passará pelo tanque, sendo controlado por uma válvula que vai bypassar serpentina, de forma obter um processo simplificado de controle da temperatura da mistura dentro do tanque.

O mesmo sistema de agitação será utilizado para o aquecimento da água do digestor, quando necessário. Serão instalados 8 sensores de temperatura, um para cada bomba de água do sistema de agitação, e 3 válvulas pneumáticas por circuito ou bomba, com sistema automatizado controlado por CLP.

Quando a temperatura estiver fora dos parâmetros no digestor, as válvulas serão acionadas, desviando a água, que passará pelo trocador de calor. Desta forma um trocador de calor poderá atender a todos os pontos do sistema. Do contrário, a água vai circular diretamente sem passar pelo trocador.

A princípio, somente o calor do sistema de arrefecimento será utilizado, mas se for observado que o calor gerado é insuficiente, poderá ser instalada uma quarta serpentina, que aproveitará o calor descartado no escapamento.

Também se observa que a inércia térmica do sistema é grande e que quando os geradores estiverem desligados não haverá entrada e saída de mistura do digestor, não sendo necessário elevar a temperatura.

#### *3.4.2.5 Retirada da mistura do digestor.*

No final do digestor será construída uma depressão, em forma de uma calha, com 50 cm x 50 cm, na extensão transversal do tanque (60 m). Serão instalados 6 tubos, em forma de bengala, partindo do fundo da calha e passando a 5 centímetros da borda superior do tanque do digestor, para que por gravidade o fluxo da mistura seja conduzido para fora do tanque. A saída da mistura também será auxiliada pela agitação da água.

Externamente será instalado um tanque de concreto enterrado no solo, com 10 m<sup>3</sup> de capacidade, que receberá o material oriundo do digestor e outros.

### **3.4.3 O sangue**

O sangue tem importância considerável no processo do biodigestor, porém sua destinação será abordada na próxima etapa.

## **3.5 DECANTADORES**

São estruturas destinadas a separação da mistura nas partes sólida e aquosa.

### **3.5.1 Considerações**

Após o processo de digestão restará uma mistura de água e material orgânico decomposto e estabilizado (inerte). O material sólido é um excelente fertilizante, podendo ser aplicado diretamente ao solo em proporção adequada, sendo que, o volume normalmente é definido por engenheiro ou técnico agrônomo, após análise técnica.

Este material poderia ser utilizado diretamente na propriedade, mas neste caso, o volume seria muito elevado para a área pertencente à empresa atualmente.

A empresa possui uma fazenda, distante a aproximadamente 200 km, que tem capacidade para receber toda a matéria orgânica, possuindo inclusive equipamento para efetuar o transporte e distribuição do fertilizante, porém é necessário efetuar a separação entre o material sólido e a água para viabilizar o transporte até a fazenda.

O processo a ser utilizado será apresentado na sequência.

### **3.5.2 Estrutura de Decantação**

Conjunto de equipamentos utilizados para separar líquidos e sólidos

#### *3.5.2.1 Tanque de decantação.*

No tanque final, após o digestor, será instalada uma bomba de água de 10 cv e capacidade de movimentar até 200 m<sup>3</sup> de mistura por hora, e um sistema de controle de nível, para que a bomba não opere a vazio.

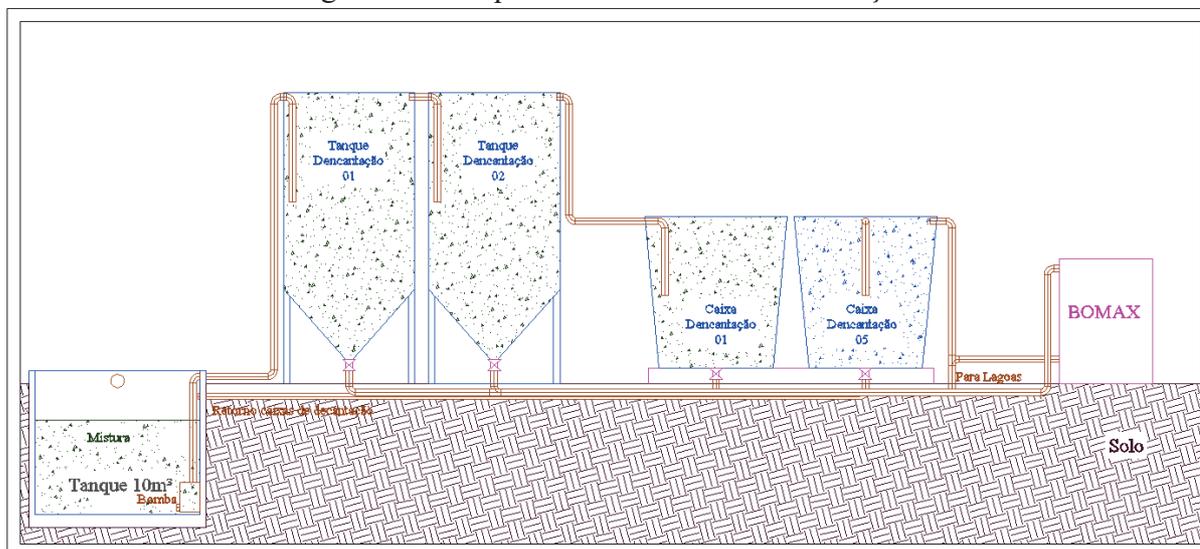
O destino da mistura bombeada é uma série de tanques de decantação. O primeiro será um tanque de metal em forma de funil, com capacidade para 10 m<sup>3</sup> de água, elevado do chão. Por decantação parte do material sólido descera para o fundo do tanque e a água, ainda com parte do material sólido, passará para outro tanque com a mesma capacidade e forma deste, repetindo o processo.

A água do segundo tanque irá para uma série de 5 (cinco) tanques tipo caixas de água simples, com capacidade para 5 m<sup>3</sup> de água cada uma, repetindo o processo anterior.

Ao final, a água, já separada da maior parte dos materiais sólidos, será encaminhada para as lagoas de decantação existentes, podendo ser utilizada diretamente para fértil irrigação.

Nos 5 (cinco) tanques restantes, também em intervalos regulares, será feito o mesmo processo de "sangria", porém neste caso, o material vai ser encaminhado para o tanque de concreto de 10 m<sup>3</sup>, retornando ao início do processo. Neste caso já haverá pouca matéria orgânica, o que não justifica o envio direto para a prensa.

Figura 3.9 - Esquemático sistema de decantação.



Fonte: Elaborada pelo autor.

### 3.5.2.2 Filtro prensa.

O material oriundo dos dois primeiros tanques de decantação é encaminhado para um filtro prensa, que funciona conforme descrição efetuada pela empresa Bomax.

A Bomax fabrica o filtro prensa de placas em polipropileno tipo câmara que é um equipamento de alta robustez destinado a fazer a separação de sólido-líquidos, através da passagem forçada de soluções com resíduos, por elementos filtrantes permeáveis.

Este processo é feito pelo bombeamento destas soluções contra as lonas filtrantes que só permitem a passagem da parte líquida da solução, a qual é drenada (já isenta de sólidos) através de canais presentes nas placas filtrantes. A parte sólida vai sendo continuamente depositada nas lonas, formando sobre as mesmas uma camada cada vez mais espessa. As placas em polipropileno filtrantes possuem um perfil que permite às mesmas, quando montadas uma contra a outra, formarem no interior do equipamento câmaras que são completamente preenchidas pelos sólidos. O bombeamento (com bombas pneumáticas de diafragma ou centrifugas elétricas incorporadas) sob alta pressão em conjunto com lonas de filtragem faz com que as partículas se acomodem de forma a gerar no final do processo, tortas compactas e com baixo nível de umidade. Com a abertura do filtro prensa tipo câmara de placas em polipropileno, estas "tortas" são retidas para descarte ou reaproveitamento.

O fechamento do conjunto é feito por um cilindro hidráulico, mantendo as placas em polipropileno pressionadas uma contra a outra de forma que as mesmas não se separem quando submetidas às altas pressões de filtração.

A seleção correta dos elementos filtrantes, da bomba pneumática de diafragma ou centrifuga elétrica, aliadas as características particulares de cada processo, permitem atingir rendimentos de separação surpreendentes, podendo gerar tortas com até 60% de teor de sólidos [Bomax].

O resíduo de água é encaminhado diretamente para as lagoas de decantação, possuindo volume de sólidos bem pequenos.

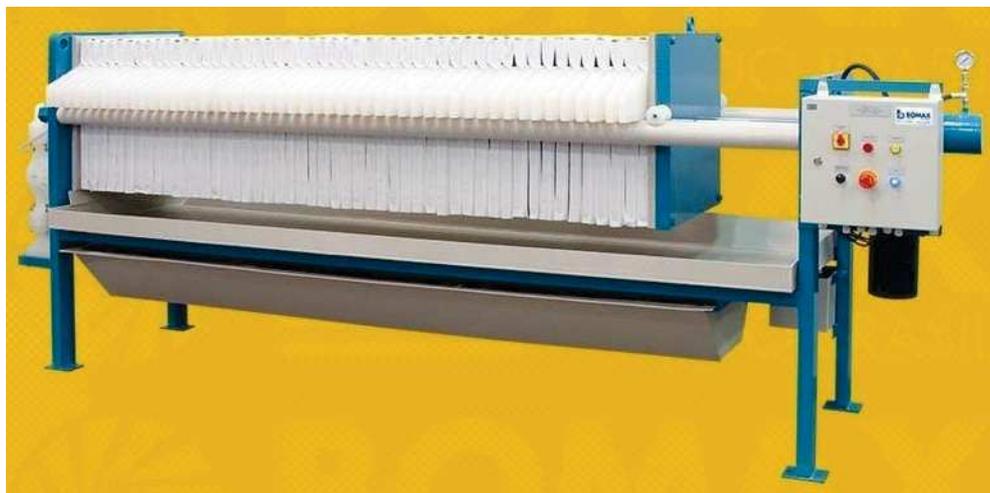
A "torta" de material sólido, fertilizante ou esterco remanescente, será então armazenada em local apropriado, e quando formar um volume suficiente, será transportado para a fazenda e utilizado na lavoura.

Observa-se que no processo atual o material retirado da esterqueira possui um volume bem superior de água, maior que 75%, o que encarece significativamente o custo de transporte.

O filtro prensa será dimensionado para processar um volume de 50 m<sup>3</sup>/h de mistura que já chega previamente concentrado. Isto deve gerar uma massa de, aproximadamente, 2.000 kg de esterco ou fertilizante por hora, com um nível de umidade em torno de 40% a

45%, representando uma redução de 50% em volume e peso de esterco, aproximadamente, a ser transportado.

Figura 3.10 - Filtro prensa "Bomax".



Fonte: Bomax.

Atualmente, não é possível utilizar este tipo de prensa do processo, porque o tamanho das fibras neste caso entopem a bomba, que é de alta pressão e múltiplos estágios de rotores. Após o biodigestor, estas fibras estarão decompostas na afetando a bomba.

Esta etapa finaliza o processamento, na planta industrial, dos materiais sólidos e líquidos.

### 3.6 BIOGÁS

Na biodigestão, descrita anteriormente, há a liberação de uma mistura gasosa, denominada biogás. A composição do biogás, em geral, é constante, porém a concentração dos componentes pode variar, dependendo da qualidade e da tecnologia empregada no biodigestor. Em geral, o biogás apresenta as características descritas na Tabela 3.1.

Quando se realiza um processamento adequado, se consegue volume maior de metano (CH<sub>4</sub>), que é o objetivo final.

Tabela 3.1 - Composição do biogás.

<b>Biogás</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Metano (CH <sub>4</sub> )	40 - 75
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	25 - 40
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	0,5 - 2,5
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	0,1 - 1,0
Ácido sulfídrico (H <sub>2</sub> S)	0,1 - 0,5
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	0,1 - 0,5
Monóxido de carbono (CO)	0,0 - 0,1
Hidrogênio (N <sub>2</sub> )	1,0 - 3,0

Fonte: Castanón (2002)

O processo em análise possuirá as melhores características de matéria prima e condições operacionais.

O material sólido vai possuir uma característica constante de composição, que permite operar com bactérias mais especializadas sem que haja o risco de perda ou diminuição das colônias, ou ainda, o desenvolvimento de variantes que provoquem a morte das colônias desejadas.

O volume, a agitação e a temperatura da água serão controlados.

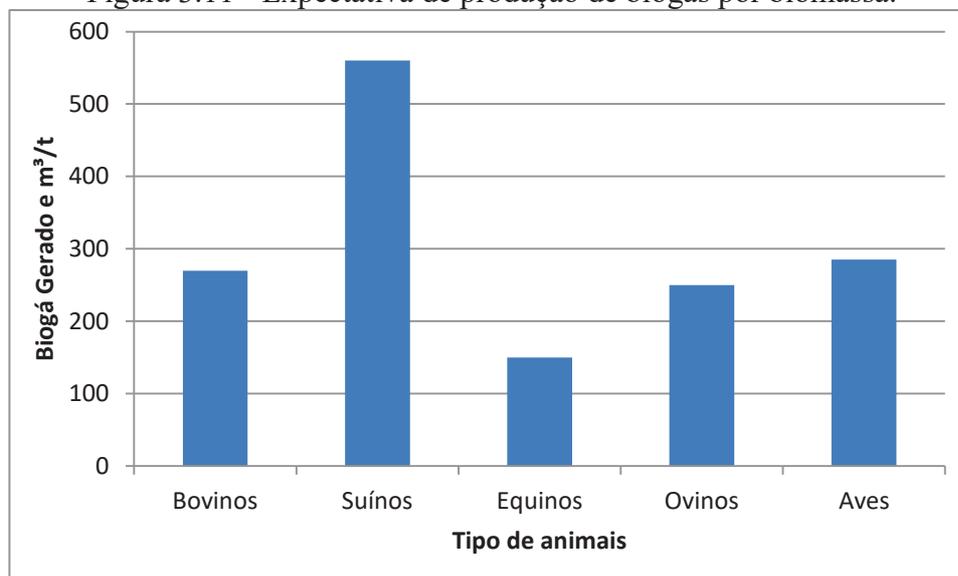
A água utilizada possui naturalmente pH mais elevado, o que favorece o processo.

Desta forma espera-se que a produção de metano esteja nos níveis mais altos possíveis, ao menos entre 60 e 75% de CH<sub>4</sub> em volume. Contudo, será utilizado o percentual de 60% de metano em volume de biogás como parâmetro de rendimento neste estudo.

Em relação ao volume de biogás gerado por quilo de material seco há diversos estudos relacionados nas referências bibliográficas que apresentam certas variações, porém o valor médio esperado e comumente utilizado é de 270 m<sup>3</sup> (SILVA, 2018) de biogás por tonelada de matéria seca.

Figura 3.11 apresenta a expectativa de produção de biogás por biomassa.

Figura 3.11 - Expectativa de produção de biogás por biomassa.



Fonte: Sganzerla, (1983). Adaptado por Colatto e Langer (2012).

Assim, a estimativa de geração de biogás é de:

$$5,5 t \times 270 m^3/t = 1.485 m^3 \quad (3)$$

Considerando 60% de metano, tem-se:

$$1.485 m^3 \times 60\% = 891 m^3 \quad (4)$$

Estima-se 891 m<sup>3</sup> de gás metano por dia útil, relacionando este valor com os dias que a empresa opera é o potencial de geração de energia, porem o gás será gerado continuamente no biodigestor acumulando no gasômetro.

### 3.6.1 Metano

Para o funcionamento adequado do GMG é desejável que o percentual de metano seja, no mínimo, superior a 90%, abaixo deste valor o poder calorífico fica muito baixo, o que exige a redução da potência máxima ao qual o motor pode operar, além de outras considerações.

Desta forma é possível tratar o biogás para melhorar a concentração de metano e para a redução dos outros gases.

### 3.6.1.1 Filtro de $CO_2$

Há diversos modelos de filtro para remoção do  $CO_2$ , entre eles:

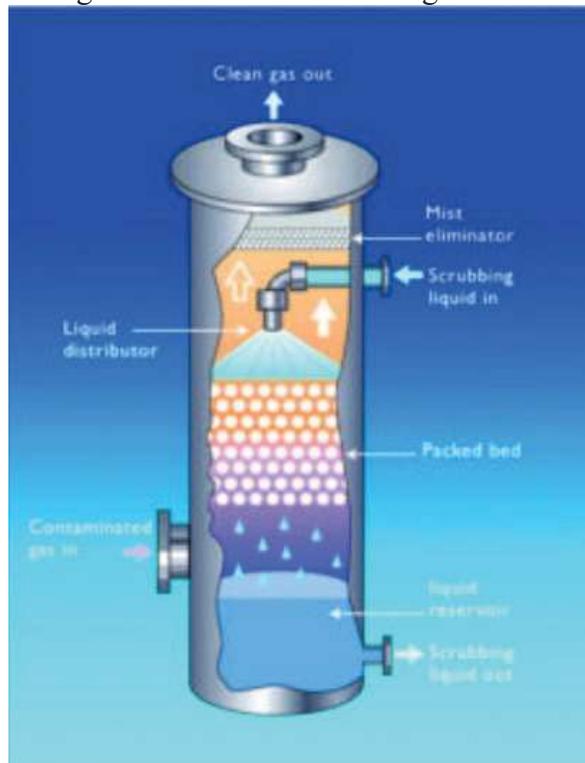
- A purificação utilizando “Water scrubbing”, que consiste em passar o gás por um banho de água pura agregando as moléculas de  $CO_2$ .

A Figura 3.12 apresenta um modelo semelhante a que será utilizado no sistema.

- Outro é o sistema de membrana, tecnologia nova onde uma membrana feita de polímeros a base de acetato-celulose é de 20 a 60 vezes mais permeável ao  $CO_2$  do que ao  $CH_4$ , ou seja, o  $CO_2$  passa pela membrana e o metano é retido.
- Outro é o filtro utilizando PSA (“Pressure Swing Adsorption”), este filtro é composto por diversos materiais, entre eles o carvão ativado, sílica gel, alumina, etc., que absorvem os gases leves, tendo que ser substituídos periodicamente (MILANEZ, 2021).

Há outros filtros no mercado, porém são mais utilizados em processos que visam o envasamento e liquefação do gás.

Figura 3.12 - Water scrubbing



Fonte: CR Clean Air

Neste processo será utilizado o filtro “Water scrubbing”, 3 unidades em série. Dentro de uma câmara selada e hermética será injetado água, na qual metade da câmara permanecerá preenchida por água e no restante existirá um chuveiro para melhorar a absorção de CO<sub>2</sub>.

A água utilizada será oriunda das lagoas de decantação. A empresa possui 6 lagoas, sendo que a água será coletada da 5ª lagoa.

Em condições atmosféricas, a diferença de concentração de CO<sub>2</sub> na água em relação ao ar fará com que, naturalmente, o CO<sub>2</sub> se dissocie da água e vá para a atmosfera. Desta forma é esperado que na 5ª lagoa a concentração de CO<sub>2</sub> seja baixa, tornando a água adequada para ser usada no filtro.

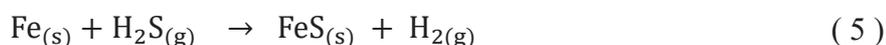
A água será bombeada da lagoa para o filtro utilizando um motor de 1/4 cv.

Em série com o primeiro conjunto de filtros, serão instalados dois filtros de membrana de acetato celulose, que possui um custo baixo de manutenção e operação.

Espera-se que com a implementação dos processos adequados no biodigestor, instalação dos filtros de CO<sub>2</sub> e eliminação total do ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S), obtenha-se um gás combustível com, no mínimo, 95% de metano, o suficiente para que o GMG opere em condições próximas a ideal e a plena carga operacional.

### 3.6.1.2 Gás Sulfídrico

O maior problema apresentado em todas as plantas de produção de biogás, e que desafia os projetistas há muitos anos, é a formação indesejável de ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S) no biogás. Este reage principalmente com as partes metálicas fabricadas em ligas a base de ferro e degradam rapidamente os motores, reduzindo a vida útil do sistema. A reação que comumente ocorre entre óxido de ferro e ácido sulfídrico é:



Aqui entra o terceiro insumo do nosso estudo, o sangue, que fornece a cota de ferro necessária para neutralizar a formação de H<sub>2</sub>S ainda dentro do biodigestor.

Com base em informações coletadas empiricamente, em uma unidade de processamento de resíduos urbanos, a estimativa é de que o volume de sangue disponível seja ao menos 3 vezes maior que o mínimo necessário para neutralizar completamente a formação de H<sub>2</sub>S, podendo ser dispensada a necessidade de instalação de filtros para remoção do gás.

### 3.6.1.3 Do PCI do gás.

Na Tabela 3.2 pode ser observado o poder calorífico esperado para o metano com determinado grau de pureza.

Tabela 3.2 - Variação do poder calorífico em relação à composição do biogás.

Composição Química do Biogás	Peso Específico do Biogás	Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)	Poder Calorífico Inferior (kcal/m <sup>3</sup> )
10% CH <sub>4</sub> , 90% CO <sub>2</sub>	1,8393	465,43	856,06
40% CH <sub>4</sub> , 60% CO <sub>2</sub>	1,4643	2338,52	3424,29
60% CH <sub>4</sub> , 40% CO <sub>2</sub>	1,2143	4229,98	5136,46
65% CH <sub>4</sub> , 35% CO <sub>2</sub>	1,1518	4831,14	5564,50
75% CH <sub>4</sub> , 25% CO <sub>2</sub>	1,0268	6253,01	6420,59
95% CH <sub>4</sub> , 5% CO <sub>2</sub>	0,7768	10469,6	8132,78
99% CH <sub>4</sub> , 1% CO <sub>2</sub>	0,7268	11661,02	8475,23

Fonte: Adaptado de Avellar (2001) (a12)

## 3.7 GRUPO MOTOR GERADOR

Para o estudo foi utilizado como parâmetro geradores fabricados pela CHP do Brasil, empresa 100% nacional com base tecnológica voltada especificamente para a produção de geradores operados a gás.

Para o projeto está sendo prevista a instalação de GMG modelo CHP150 com características descritas abaixo.

### 3.7.1 Motor

O motor a combustão interna produzido pela CHP é especialmente adaptado para funcionar a gás. Mesmo buscando-se um gás limpo, a empresa utiliza materiais especiais nos sistemas de admissão, alimentação e escape com objetivo de aumentar a durabilidade do motor.

A principal adaptação em relação aos motores movidos à gasolina é o sistema de alimentação do gás na entrada do motor, especialmente adaptado.

Os motores são de uso comum no mercado e produzidos comercialmente. Os controles de acionamento e automação também são comuns, contendo sistemas de acionamento, paralelismo, controle de potência, entre outras funções.

O motor do GMG, modelo CHP150, é um motor com 6 cilindros em linha, 6 litros de capacidade cúbica, quatro tempos, resfriado a água, turbo alimentado, com intercooler, e sistema elétrico 12 Vcc.

O motor é originalmente testado e regulado para operar com gás natural, com PCI de estimado em 8.358 kcal/m<sup>3</sup>. Calculando, tem-se:

Para compensar a diferença de poder energético entre o gás natural e a gás obtido, primeiro obtemos a relação:

$$\frac{8.136 \text{ kcal/m}^3}{8.358 \text{ kcal/m}^3} \times 100\% = 97,34\% \quad (6)$$

Significa que o gás obtido possui 97,35% do poder energético quando comparado ao gás natural (GN) distribuído por sistema de gasodutos.

$$96 \text{ kW} \times 95\% = 91,2 \text{ kW} \quad (7)$$

Desta forma será considerado que a potência desenvolvida pelo gerador será limitada a 95% da potência original, (96 kW em regime permanente quando movido a GN e 91,2 kW com o gás obtido). Pode-se também ajustar o conjunto para gerar a mesma energia (100%), porém com um consumo maior de gás, e para efeito de cálculo será utilizada a primeira opção.

### 3.7.2 Alternador

O projeto prevê um alternador de fabricação WEG com tensão trifásica de 380/220 Vca, excitação tipo Brushless e rolamento simples, campo giratório, 4 pólos e malha protetora. A saída de enrolamento do alternador será com passo encurtado 2/3 para melhorar as qualidades harmônicas e capacidade de paralelismo. O alternador tem potência de 150 kVA.

### 3.7.3 Painel elétrico do gerador

Cada gerador contém painel elétrico completo possuindo:

1 - USCA destinada a controlar os parâmetros de funcionamento do motor, aceleração, controle de excitação, partida e parada, paralelismo com a rede e etc.

2 - O conjunto gerador possui relé auxiliar de proteção, destinado a proteger exclusivamente o gerador e o motor com as funções:

- 50/51 - Sobrecorrente do gerador
- 50N/51N - Sobrecorrente de neutro do gerador
- 27 - Subtensão;
- 59 - Sobretensão;
- 59N - Sobretensão de neutro do gerador;
- 81 - Subfrequência e sobrefrequência;
- 25 - Verificação de sincronismo, para supervisão do fechamento do paralelismo.

3 - Disjuntor motorizado para entrada e saída de operação, ou seja, conexão e desconexão do grupo à rede elétrica.

#### **3.7.4 Transformador isolador**

A energia será gerada em tensão de 380/220 Vac, e a rede de distribuição possui tensão de operação de 24 kV. Para adequação da tensão será instalado um transformador de 150 kVA de potência, ligado em delta no primário (24 kV) e estrela com neutro acessível no secundário (380/220 V), e também terá a função de transformador isolador, conforme preconizado em norma técnica.

### **3.8 INSTALAÇÃO E CONEXÃO A REDE ELÉTRICA**

Por questões de confiabilidade, facilidade de manutenção, maior durabilidade do conjunto e etc., estudou-se a configuração com 3 GMG instalados de forma independente entre si e independente da rede de distribuição. A unidade irá operar como produtor independente de energia elétrica, não gerando excedente para faturamento ou comercialização. Em todas as situações onde a empresa cessar as atividades, os geradores serão desligados.

Será feita a instalação de uma subestação em alvenaria para acomodar os transformadores e os fusíveis de proteção do primário de cada transformador, bem como,

chaves de abertura sobre carga para eventual desconexão manual do conjunto completo. A subestação terá um barramento de alta tensão.

Área para instalação dos geradores e painéis elétricos, sendo que o sistema de paralelismo com a rede será realizado em tensão secundária (380/220 V), que acompanha o GMG.

A subestação terá conexão com a rede primária interna, existente na empresa.

Na subestação de entrada de energia, medição e proteção, já existe um disjuntor de alta tensão instalado que atende aos requisitos mínimos de proteção, com bobina de abertura e fechamento, ou seja, motorização incorporada.

Será necessária a substituição somente do relé de proteção secundária, de forma a incorporar as demais proteções exigidas para conexão de geradores à rede elétrica da concessionária local.

As regras e normas para conexão são gerais e estabelecidas por legislações determinadas pela ANEEL, contudo, algumas concessionárias possuem normas próprias, podendo ter algumas particularidades.

A unidade é atendida pela concessionária CPFL Piratini, a qual possui a normativa ou documento "GED-18683 - Ligação de Autoprodutores em Paralelo com o Sistema de Distribuição da CPFL" onde compila as exigências de conexão.

Analisando o documento, as principais alterações físicas necessárias são a instalação do relé de proteção e as ampliações mencionadas acima, e do intertravamento do sistema de proteção geral na subestação com o sistema de proteção dos geradores (comunicação), afim de que em caso de falha no fornecimento de energia elétrica pela concessionária, os geradores também sejam desativados e desconectados da rede, incluindo a rede interna. E ainda, que não ocorra fluxo de potência em "sentido" a rede da concessionária.

Faz-se necessário o encaminhamento de documentos e estudos de capacidade, seletividade e proteção, bem como a apresentação de todo o projeto e documentos solicitados na normativa, porém os custos de engenharia e implementação estão sendo previstos e serão detalhados e encaminhados em etapa futura, além de ART e outros que estão previstos e incorporados a esta análise.

### 3.9 LEGISLAÇÃO

Há uma série de procedimentos, leis e normas que devem ser atendidos para permitir a implementação do sistema:

Primeiro, tem que ser aprovado o projeto junto a FEPAM. O estudo não possui qualquer condição especial, não há necessidade de supressão de vegetação, não será instalado próximo a rios ou nascentes, não possui potencial poluidor, pelo contrário, é benéfico ao meio ambiente, mas precisa ser analisado e aprovado, sobre pena de perda da licença ambiental da empresa como um todo.

Observa-se que, atualmente, a água tratada não atende a parâmetros mínimos para poder ser destinada a rios ou córregos, porém pode ser utilizada como fertilizante, havendo um acompanhamento técnico e o licenciamento ambiental para este fim.

Com a nova estrutura abre-se a possibilidade de ampliação da unidade porque o tratamento também limita a capacidade de abate diária, sendo que, todos os setores da empresa têm de ser devidamente redimensionados para poder receber os volumes de materiais e produtos gerados, o que inclui o tratamento de efluentes.

O segundo órgão é a DIPOA, responsável pelo licenciamento sanitário da unidade. Este órgão não gera restrição ao projeto, mas a licença para ampliação da unidade também depende da ampliação do tratamento de efluente.

Além da FEPAM e DIPOA, o projeto precisa ser aprovado pelos órgãos:

- Corpo de bombeiros.
- ANA, porque vai aumentar o volume de água e a agência tem que ser acionada para atualização da licença de fértil irrigação.
- CREA - RS com a emissão das devidas ARTs de projeto e execução.
- ANEEL, a unidade tem que ser registrada na agência para ser autorizada a se conectar em paralelo com a rede elétrica, atender a resoluções como a RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 921, DE 23 DE FEVEREIRO DE 2021, PRODIST e outras. A unidade não produzirá excedente de energia elétrica e produzirá a energia a partir de fonte alternativa, gozando desta forma de algumas prerrogativas como poder gerar energia sem restrição. Não será necessário o registro na CCEE, entre outras situações.

Haveria a possibilidade de contratação de demanda de reserva para suprir eventual falha dos geradores, porém serão instalados 3 (três) geradores, sendo um de reserva para contingenciamento.

Também não estará sujeita a regulação de geração pelo ONS.

Na sequência será apresentado a análise financeira do projeto, os investimentos necessários e a viabilidade.

## 4 ANÁLISE FINANCEIRA E INVESTIMENTOS

Na concepção do estudo ou projeto não se prevê a obtenção de receitas com vendas ou serviços diretos, o retorno financeiro será obtido com a redução de custos ou consumo de energia elétrica e outros, pela empresa.

### 4.1 TARIFICAÇÃO E TRIBUTAÇÃO

A empresa, dentro do que é estabelecido pela Resolução Normativa nº 414 de 9 de setembro de 2010, está conectada à rede básica em tensão primária de distribuição com classe de tensão de 24 kV, demanda superior a 500 kW e inferior a 2.500 kW. Desta forma está enquadrada no grupo A, subgrupo A4, e optou pela modalidade tarifária horária azul, com a contratação de demanda na ponta e fora de ponta conforme preconiza a normativa. Esta condição será mantida mesmo com a ampliação.

Nesta condição, segunda a resolução, a empresa também se enquadra como consumidor incentivado de energia elétrica, situação na qual a empresa optou por contratar a energia elétrica utilizada atualmente.

Basicamente, por meio do contrato de adesão, a empresa paga as demandas e o TUSD para concessionária local (RGE - CPFL) e contrata o fornecimento de energia elétrica diretamente de geradoras ou de comercializadoras.

Na condição incentivada, a empresa usufrui de subsídio de 50% na contratação da demanda na ponta e fora de ponta.

Em relação à tributação, incidem diretamente sobre a fatura de energia o PIS, COFINS (federais) e o ICMS (estadual). Os impostos federais são passíveis de creditação tributária integral, ou seja, podem ser abatidos do valor devido gerado na venda de seus produtos. Já o estadual, estabelecido pela Lei Nº 8820 DE 27/01/1989, determina que 40% da instalação dos frigoríficos são classificados como área industrial, e o restante como comércio, desta forma os 40% são passíveis de creditação, e os 60% restantes, não são, caracterizando como custos para a empresa.

Na Tabela 4.1 e na Tabela 4.2, com base nos valores extraídos da fatura de energia elétrica disponível no anexo A, mensura-se o custo atual da energia elétrica utilizada pela unidade consumidora.

Tabela 4.1 - Custo da demanda de potência atual (incentivada 50%).

Demanda Ponta kW	Total com impostos (R\$)	ICMS (R\$)	40% ICMS (R\$)	PIS (R\$)	COFINS (R\$)	TOTAL (R\$)
764,16	20.192,93	3.533,76	-1.413,50	-197,89	-920,8	17.660,74
	Custo (R\$/kW)	23,1113	<b>Demanda com Subsídio 50% (R\$/kW)</b>			<b>11,5557</b>
Demanda F. Ponta kW	Total com impostos (R\$)	ICMS (R\$)	40% ICMS (R\$)	PIS (R\$)	COFINS (R\$)	TOTAL (R\$)
979,64	17.343,07	3.533,76	-1.413,50	-169,96	-790,84	14.968,77
	Custo (R\$/kW)	15,2799	<b>Demanda com Subsídio 50% (R\$/kW)</b>			<b>7,6399</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 4.2 - Custo da energia elétrica atual (Mercado livre).

TUSD (kWh)	Total com impostos (R\$)	ICMS (R\$)	40% ICMS (R\$)	PIS (R\$)	COFINS (R\$)	TOTAL (R\$)
369.537,80	41.630,62	7.285,36	-2.914,14	-407,98	-1898,36	36.410,14
			<b>Custo (R\$/kW)</b>			<b>0,0985</b>
ENERGIA (MWh)	Total com impostos (R\$)	ICMS (R\$)	40% ICMS (R\$)	PIS / COFINS 9,25% (R\$)	TOTAL (R\$)	
410,247	110.831,33	19.395,48	-7.758,19	-8.457,82	94.615,32	
			<b>Custo (R\$/MWh)</b>			<b>230,6301</b>
	<b>Custo Total da Energia TUSD + ENERGIA (R\$/MWh)</b>					<b>329,1590</b>

Fonte:Elaborada pelo autor.

## 4.2 ENERGIA ELÉTRICA

Na equação ( 4 ), resultado de uma série de informações coletadas, obtém-se a previsão do volume de gás metano a ser gerado diariamente a partir do material orgânico descartado ou não utilizado no processo de abate de bovinos em ambiente industrial. Observa-se que este valor é o potencial energético de geração de gás, e não reflete necessariamente o volume de gás produzido em um único dia. O processo será contínuo. O biodigestor será alimentado aproximadamente com 5.500 kg de matéria orgânica a cada dia útil de operação da empresa e a degradação e transformação da massa em gás irá ocorrer continuamente durante um ciclo, que levará no mínimo 21 dias para ser concluído. O gás gerado é armazenado, a princípio, no próprio biodigestor e será utilizado em períodos de maior demanda de energia elétrica.

A Figura 4.1 extraída do controlador de demanda da empresa, mostra a curva de demanda de energia em um dia típico de operação. Em verde claro é a demanda fora de ponta no posto capacitivo registrada em um intervalo de 15 minutos, em verde escuro é a demanda de energia fora de ponta no posto indutivo e em vermelho é a demanda na ponta, todos registrados em kW. O processo de abate ocorre em turno diurno, havendo algumas etapas do processo sendo realizadas no período noturno. O maior consumo ocorre em virtude da operação da casa de máquinas, responsável pelo processo de refrigeração, congelamento de produtos e climatização dos ambientes.

A configuração de projeto com 3 GMGs, sendo um de reserva, tem por objeto a confiabilidade e a possibilidade de efetuar a redução do contrato de demanda e consequente redução de custos. Da Figura 4.1, pode ser extraído que a demanda máxima fora de ponta é de 1.000 kW no período diurno e 760 kW no noturno, e período de ponta é de 800 kW. Desta forma tem a possibilidade de operar os GMGs durante o período de maior demanda e horário de ponta e desligar no restante do período, tendo assim a maior redução da demanda. Os geradores operam com carga constante e no ponto ótimo de operação é registrado o maior rendimento operacional.

Com a ampliação da unidade, as demandas deverão aumentar significativamente, más manterão o atual perfil de operação.

Figura 4.1- Gráfico de demanda de um dia típico de operação da empresa.



Fonte: Smart32 (Gestal).

Cada gerador CHP150, operando com a perda de potência de 5%, deverá gerar uma potência constante de 91,2 kW, consumindo aproximadamente 26 m<sup>3</sup> de gás por hora de operação.

Os GMGs vão operar cerca de 17 horas por dia, calculados com base na disponibilidade do insumo, de segunda-feira à sexta-feira, podendo estender o horário de operação caso a oferta de gás seja maior, o que é esperado.

Considera-se 23 dias de operação mensal, observando que tipicamente a empresa opera em feriados e sendo comum efetuar abates extras aos sábados (um abate no sábado por mês ao menos).

Portanto, a expectativa é de uma economia mensal de aproximadamente R\$ 27.100,00 com a geração de energia elétrica, conforme pode ser observado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3- Estimativa de economia da conta de energia.

Receita diária de energia							
Gás produzido (m <sup>3</sup> )	Consumo m <sup>3</sup> /h	Potência gerada (kW)	Tempo de operação GMGs	Energia gerada (kWh/dia)	Demanda na F. Ponta (R\$)	Demanda na Ponta (R\$)	Energia (R\$)
891	52	182,4	17,13	3.125,35	1.393,52	2.107,75	1.028,74
Vr. da demanda F.ponta			Vr. da demanda na ponta		Vr. da energia		
7,64	R\$/kW		11,56	R\$/kW		329,16	R\$/MWh
Retorno mensal							
				Dias	VI. Unit.(R\$)	Subtotal (R\$)	
Demanda na ponta				1	1.393,52	1.393,52	
Demanda fora de ponta				1	2.107,75	2.107,75	
Energia elétrica				23	1.028,74	23.660,98	
<b>Total</b>						<b>27.162,26</b>	

Fonte: Elaborada pelo autor.

### 4.3 ADUBO ORGÂNICO

Para o setor de proteína animal, o licenciamento ambiental é uma exigência e a perda do licenciamento implicaria no embargo do funcionamento da empresa. Uma das exigências para manutenção da licença é que todos os resíduos, produtivos ou não, gerados na empresa, tenham que ser destinados de forma correta, seja para reciclagem, seja como fertilizante, etc. A destinação também tem que ser documentada, por exemplo, metais podem ser vendidos, desde que para uma empresa registrada e devidamente legalizada para trabalhar ou reciclar este tipo de material. Normalmente se usa da emissão de nota fiscal como documento, mas também podem ser adotados procedimentos licenciados como, por exemplo, o caso da água que é utilizada em processo de fértil irrigação, onde um técnico agrônomo efetua o acompanhamento do processo e emissão de laudos do uso do insumo.

A empresa possui 90 hectares de terra de pastagem nos arredores, destes 50 são irrigados. Porém as análises de solo demonstraram que o volume de fertilizante utilizado já está próximo ao limite da faixa adequada, e desta forma a empresa está investindo na ampliação da área irrigada para diluir a destinação da água e não comprometer ou poluir o solo. Assim sendo não há margem para utilizar o esterco na propriedade local.

Inicialmente, a empresa doava o esterco para produtores locais. Porém ocorreram problemas com o rastreamento e a documentação, o que pôs em risco o processo de renovação do licenciamento ambiental. Com a aquisição da fazenda já citada, a equipe técnica optou por licenciar a destinação do esterco para a fazenda, evitando assim problemas ambientais e legais. Além disso, há a necessidade de adubação do solo, o que minimiza alguns gastos na propriedade.

Cabe salientar que o esterco in natura precisa aguardar 90 dias depositados sobre o solo antes de poder ser espalhado na lavoura, devendo-se ter o cuidado de nunca depositar cargas em um mesmo local, cada remeça tem que ser depositada em local variado.

Em um estudo realizado, com o uso de um caminhão caçamba próprio, com capacidade para transportar 21 toneladas de carga, considerando a distância ida e volta à fazenda de 400 km, dos quais 140 km são realizados em estradas de chão, que encarece o custo, calculou-se que a estimativa de custo de transporte, considerando combustível, mão de obra, manutenção e depreciação do veículo é de aproximadamente R\$ 1.360,00 por viagem. Mesmo com o custo, a empresa entende que é viável, principalmente, para evitar complicações jurídicas.

A instalação da prensa descrita acima tem por objetivo minimizar o custo de transporte, reduzindo a concentração de água na mistura com a consequente redução de peso e volume. Atualmente o volume de água remanescente na esterqueira ao final do ciclo, é superior a 75% em volume, e em peso. Com a instalação da prensa, o volume de água deve ser reduzido para 40% do volume total, reduzindo significativamente o custo de transporte.

A Tabela 4.4 apresenta uma estimativa da redução do custo de transporte in natura e o custo após o processo de prensagem, considerando 40% de umidade remanescente. Estima-se que possa ser economizado em torno de R\$ 17.900,00 reais mensais com o novo processo.

Esta estimativa é conservadora, porque abatendo 360 animais dia, já são necessárias de 18 a 19 viagens mensais para transporte de todo o material produzido.

Tabela 4.4 - Estimativa de custo de transporte.

Abate /dia	"esterco" (kg/abate)	Peso (kg)	Dias	Umidade	Mensal (kg)
550	50	27500	23	80%	632.500
Peso estimado com 70% de umidade				75%	592.969
Peso estimado com 40% de umidade				40%	316.250
Custo das Viagens					
Peso (Kg)	Capacidade do veiculo (kg)	Viagens por mês	Custo unit. (R\$)	Total (R\$).	
592.969	21.000	28,23661	1.360,00	38.401,79	
316.250	21.000	15,05952	1.360,00	20.480,95	
<b>Econômica com transporte (R\$)</b>					<b>17.920,83</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.4 O&M

Quanto à operação e manutenção, o sistema será praticamente todo automatizado. No valor do digestor está incluído o acompanhamento, por até 1 (um) ano, sem custo adicional, de um técnico que fará a otimização do processo e treinamento dos colaboradores para operação do digestor. A manutenção no geral será realizada por colaboradores que já fazem parte do quadro de funcionários da empresa, não havendo a previsão de aumento do quadro de colaboradores. Será necessário um operador para acompanhar e, principalmente, retirar as "tortas" de adubo da prensa "Bomax", ao custo de R\$ 4.000,00 mensais, incluindo todos os encargos trabalhistas, férias e 13º salário.

O equipamento que possui maior desgaste é o motor do gerador, segundo o fabricante, com a manutenção adequada e garantindo que não tenha H<sub>2</sub>S no gás consumido, a vida útil do equipamento é estimada em 20.000 horas, sendo necessário a retífica do motor decorrido este período, e desta forma está sendo considerada a reserva de R\$ 1.000,00 reais ao mês para esta manutenção.

Considerou-se reservar, ao todo, R\$ 10.000,00 mensais para OEM, descontando os valores acima, sobrariam R\$ 5.000,00 mensais para manutenções diversas.

O consumo de energia elétrica no processo será equivalente ao de uma bomba de recalque de 25 cv, utilizada na esterqueira, que será desativada no novo projeto, portanto este custo não será considerado nos cálculos de viabilidade.

No geral, a vida útil estimada para a maioria dos equipamentos é superior a 10 anos. Desta forma os investimentos já teriam sido totalmente amortizados, sendo que a substituição de componentes não representa custo significativo, em relação ao retorno esperado.

#### 4.4.1 Receitas

Somando-se os ganhos acima, espera-se uma economia em torno de R\$ 45.000,00 por mês, descontando-se o custo de OEM de R\$ 10.000,00 mensais, estima-se uma redução de custos líquida de R\$ 35.000,00 mensais ou R\$ 420.000,00 por ano.

Figura 4.2 - Receitas operacionais

<b>Receitas operacionais</b>	<b>R\$</b>
Geração de energia elétrica	27.100,00
Transporte de fertilizante	17.900,00
<u>O&amp;M</u>	<u>-10.000,00</u>
<b>Total</b>	<b>35.000,00</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.5 INVESTIMENTOS NECESSÁRIOS

Com a epidemia de SAR COVID-2 o mercado da construção civil, aço, cimento, equipamentos em geral, está bem instável, com variações significativas nos preços em curtos intervalos de tempo, como referência pode-se citar o caso do biodigestor orçado no início de 2020, instalado custava em torno de R\$ 700.000,00, hoje custa em torno de R\$ 1.000.000,00, aumento de quase 43% para o mesmo equipamento.

A Tabela 4.5 apresenta, de forma resumida os investimentos necessários para a implementação do projeto.

O custo total estimado é de aproximadamente R\$ 2.264.000,00 reais. Contudo, caso a empresa não venha a implementar o sistema proposto terá que investir na ampliação da esterqueira e na construção de uma lagoa de decantação, com fundo impermeável e dimensões semelhantes ao do biodigestor. Este sistema apenas fará o tratamento da água proveniente do processo e da esterqueira e não trará nenhum ganho financeiro. O esterco manterá as mesmas características atuais com o mesmo custo de transporte e cuidados ao depositar sobre o solo na fazenda.

O custo evitado com a instalação do sistema seria de aproximadamente R\$ 410.000,00, que será considerado como um abatimento nas despesas. Considerando, desta forma, o investimento necessário é estimado em R\$ 1.854.000,00, com todas as estruturas e alterações necessárias para o funcionamento, incluindo a automatização e o monitoramento.

Tabela 4.5 - Custos de implementação do projeto.

<b>Investimentos do Projeto</b>			
Descrição	Quant.	VI. Unitário (R\$)	VL (R\$)
Adequação esterqueira, tubulação etc.	1	40.000,00	40.000,00
Biodigestor e acessórios completos	1	1.000.000,00	1.000.000,00
Taques de decantação e estruturas	1	150.000,00	150.000,00
Filtro prensa e acessórios	1	130.000,00	130.000,00
Filtro CO2	2	50.000,00	100.000,00
GMG	3	139.000,00	417.000,00
Transformadores	3	9.000,00	27.000,00
Estruturas e coberturas para gerador e transformadores	1	165.000,00	165.000,00
Adequações diversas	1	100.000,00	100.000,00
Automação	1	135.000,00	135.000,00
		<b>Total (R\$)</b>	<b>2.264.000,00</b>
		<b>Custos evitáveis</b>	
Ampliação da esterqueira	2	-80.000,00	-160.000,00
Ampliação lagoa de decantação	1	-250.000,00	-250.000,00
		<b>Total (R\$)</b>	<b>-410.000,00</b>
		<b>Investimentos Líquidos</b>	
		<b>Total (R\$)</b>	<b>R\$ 1.854.000,00</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

No capítulo seguinte, utilizando dos dados obtidos anteriormente, será efetuado a análise de viabilidade financeira de implementação do projeto.

## 5 VIABILIDADE DO PROJETO

Este capítulo demonstra a influência dos juros na tomada de decisão para implementação do projeto, analisando qual taxa de juros tornaria o projeto viável do ponto de vista financeiro e qual retorno em cenários distintos.

### 5.1 FINANCIAMENTO

Normalmente, as empresas não dispõem de fluxo de caixa ou recursos próprios para financiar projetos com valores mais vultosos, recorrendo ao mercado em busca de financiamentos.

O BNDES, com apoio governamental, normalmente, tem sido o fomentador dos investimentos no Brasil, de forma direta, com o contrato sendo realizado diretamente na instituição, ou em parceria com instituições bancárias privadas, bancos estatais, cooperativas de crédito ou bancos de fomento.

As formas de contratação são variadas, mas um modo bastante empregado é o financiamento com 1 ou 2 anos de carência para iniciar o pagamento, tempo necessário para que o empreendimento seja construído e com o retorno do investimento as prestações sejam pagas. O prazo de pagamento, em geral, varia de 8 a 10 anos.

Atendendo a certos requisitos, que dependem das linhas de crédito, os juros são atrativos ou subsidiados. Normalmente é estipulado uma taxa básica de juros e um indexador de inflação, previstos em contrato.

As modalidades de pagamento podem ser:

- No sistema SAC, onde mensalmente é efetuado o pagamento integral dos juros e uma parte fixa do capital. Desta forma, à medida que o pagamento é efetuado, o capital devedor diminui e o valor da parcela diminui;
- Outra, mais comumente utilizada nestes financiamentos, é a PRICE, onde o valor da parcela é fixa durante a vigência do contrato.

Para este projeto, conforme análise prévia, será possível pleitear a modalidade de financiamento pelo FINEP. Está é uma linha de crédito destinada ao fomento de novos

produtos ou projetos que agreguem inovações tecnológicas, tanto durante a fase de desenvolvimento, quanto da implementação dos projetos. Por se tratar de um projeto pioneiro no Brasil, o financiamento pode ser pleiteado na totalidade nesta modalidade. O GMG e o biodigestor podem ser financiados pelo FINEP diretamente, porque a produção e a utilização do biogás ainda são classificadas como inovação, independentemente do restante da obra. O financiamento total do projeto depende de análise técnica da instituição.

## 5.2 VIABILIDADE FINANCEIRA

Como apresentado no item 4.4.1, o retorno estimado, em forma de economia de gastos, é de R\$ 420.000,00 ao ano, e este valor pagaria o investimento em 4,4 anos.

Porém, a taxa de juros do financiamento é quem determinará se a receita auferida será suficiente para remunerar o investimento ou não.

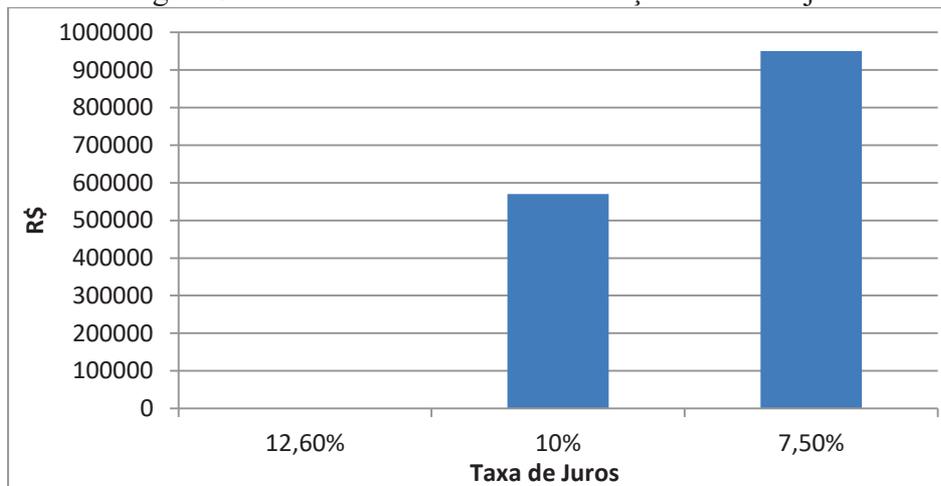
Considerando 1 ano de prazo para o início do pagamento e 8 anos para quitação do contrato, ou seja 96 prestações, modalidade de tabela PRICE para amortização, e o valor da parcela fixada em R\$ 35.000,00 mensais, ou seja, igual ao retorno mensal previsto, fez-se uma análise qualitativa da influência da taxa de juros na viabilidade do projeto.

Se considerar primeiramente retorno zero do investimento, ou seja, os valores pagos no período do contrato serem iguais ao capital acrescidos dos juros, calcula-se uma taxa de juros efetiva de 12,6% ao ano. Isto significa que se a taxa de juros do contrato somado à correção monetária for superior a 12,6% ao ano, o empreendimento vai gerar prejuízo durante o período de pagamento do investimento, tendo retorno somente após os 108 meses do contrato e recuperação dos juros pagos.

Via BNDES, são oferecidos hoje juros básicos que variam de 6% a 9% ao ano, se considerarmos 10% como juros efetivos, o retorno ao final dos 108 meses seria estimado em R\$ 570.000,00.

Via FINEP, a taxa de juros varia de 3% a 4,5%, dependendo muito do tipo de projeto. Considerando-se 4,5% e juros efetivos em torno de 7,5% ao ano, taxas comumente praticadas até o início de 2020, o retorno financeiro seria de R\$ 950.000,00 no mesmo período.

Figura 5.1 - Retorno financeiro em relação à taxa de juros



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na condição de a empresa não efetuar a execução do projeto de biodigestão, reiterando que a empresa planeja efetuar a ampliação da estrutura de produção, e para homologar as alterações, também é necessário a ampliação do sistema de tratamento de resíduos. Sendo que para efetuar apenas a ampliação da esterqueira e lagoas de decantação, não será possível contratar financiamento, a obra teria que ser realizada com recursos próprios.

O retorno financeiro dependerá de quanto do investimento poderá ser financiado pelo FINEP e/ou por outras modalidades. Análise complementar será apresentada no próximo capítulo.

## 6 ANÁLISE QUALITATIVA

O Brasil aderiu a protocolos de redução das emissões de metano e gases do efeito estufa, sendo que será realizada a revisão das metas na Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre Mudanças Climáticas (COP26), convenção que tem por objetivo a implementação de ações globais objetivando a redução nas emissões de gases do efeito estufa e a neutralidade ambiental. Desta forma ganhos adicionais podem ser incluídos na análise do projeto.

Os ganhos monetários possíveis não foram incorporados como receita direta anteriormente, porque possuem situações jurídicas, legislativas, lobi internacional que geram incertezas sobre a possibilidade real da receita, desta forma estão sendo consideradas separadamente e consideradas um ganho em potência ou ganho futuro.

### 6.1 GANHO AMBIENTAL

O projeto do ponto de vista econômico financeiro é pouco atrativo para os padrões brasileiros, em função dos juros altos praticados neste país, em comparação com diversos outros. Investimentos que apresentam payback superior a 5 anos normalmente não são implementados. Contudo, quando é incluído o ganho ambiental a conta muda completamente.

Os estudos e as possíveis consequências da emissão dos gases do efeito estufa na ocorrência de mudanças climáticas são bastante difundidos, sendo o metano considerado 23 vezes mais nocivo ao meio ambiente que o gás carbônico.

O projeto transforma um insumo que contribui com o efeito estufa, em uma fonte de energia renovável, reduz a demanda por investimento do setor elétrico, reduz a demanda por combustíveis fósseis, entre outros ganhos.

Desta forma a viabilidade do projeto não está somente na questão financeira, mas também na social, podendo ser utilizado como propaganda de uma empresa sustentável, valorizando a "marca" e a imagem da empresa perante a sociedade Brasileira e mundial. A empresa, com a ampliação e adequação, vislumbra a obtenção de licença para viabilizar a exportação de seus produtos e este projeto pode ser uma excelente propaganda para abertura e prospecção de clientes internacionais.

## 6.2 CRÉDITO DE CARBONO

As informações sobre créditos de carbono foram obtidas de empresas que atuam na certificação e comercialização do produto.

Os créditos de carbono podem ser entendidos no mundo das finanças como investimentos alternativos, assim como os “private equities” e os fundos de incorporação. Um crédito de carbono é a representação de uma tonelada de carbono que deixou de ser emitida para a atmosfera, contribuindo para a diminuição do efeito estufa.

Nesse contexto, os créditos de carbono podem ser gerados de várias formas. Dentre as formas de gerar créditos de carbono está a substituição de combustíveis em fábricas, onde as empresas deixam de usar recursos poluentes e não renováveis e passam a usar biomassas renováveis. Dessa forma, é calculado quanto de carbono deixou de ser emitido com essa substituição, gerando assim os créditos de carbono.

O crédito de carbono é a moeda utilizada no mercado de carbono. Nesse mercado, empresas que possuem um nível de emissão muito alto e poucas opções para a redução, podem comprar créditos de carbono para compensar suas emissões. Assim, elas indiretamente ajudam a manutenção do projeto de redução de emissão, além de equilibrar o nível de emissões de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera e contribuir para o desenvolvimento sustentável (TC School 2021).

Para calculá-lo é preciso saber o poder destrutivo das moléculas de cada gás que causa o efeito estufa. Este conceito é conhecido como Potencial de Dano Global (Global Warming Potential – GWP) e permite saber o quão prejudicial é a emissão de uma mesma quantidade de cada um desses gases.

O Potencial de Dano de cada gás significa o quanto ele interfere no efeito estufa em um século, comparado a uma quantidade equivalente de CO<sub>2</sub> emitida nesse mesmo período (PENSAMENTO VERDE, 2021).

De forma simplificada, o CO<sub>2</sub> GWP é igual a 1 e o metano é 23. Além disso, 1 kg de CO<sub>2</sub> equivale a 0,2727 kg de carbono equivalente (CE).

A forma básica para cálculo é dada por:

$$MCH_4 \times 23 \times 0,2727 \times GWPCO_2 = VLCC, \quad (8)$$

Onde  $MCH_4$  é a massa de CH<sub>4</sub> produzida em toneladas,  $GWPCO_2$  é o valor da tonelada de carbono equivalente (crédito de carbono) cotado no mercado por tonelada, e  $VLCC$  é o retorno financeiro previsto com créditos de carbono.

A mensuração do valor do crédito de carbono segue leis de mercado (oferta e procura), podendo variar significativamente ao longo dos anos. Normalmente a venda é feita por um período, com o valor podendo ser fixado em contrato, geralmente com base no valor de mercado presente.

O valor da tonelada de crédito de carbono, na data de elaboração deste documento, estava estimado em R\$ 330,00 por tonelada (50 Euros por tonelada).

A densidade do metano é de 0,657 kg/m<sup>3</sup> e a estimativa de produção anual no projeto analisado é de 246.000 m<sup>3</sup> é dado por:

$$MCH_4 = \frac{246.000 \text{ m}^3 \times 0,657 \text{ kg/m}^3}{1000} = 161t \quad (9)$$

A estimativa de receita anual com a venda de créditos de carbono é de:

$$VLCC = 161 t \times 23 \times 0,2726 \times 330,00 \text{ R\$/t} = \text{R\$ } 334.524,08 \quad (10)$$

Assim, a estimativa é de R\$ 335.000,00 ao ano, próximo ao ganho obtido com a geração de energia elétrica e transporte do adubo.

Contudo, a validação e homologação do projeto e o cálculo da geração de GWP somente são realizados com o projeto executado. Desta forma, não se considerou esta possibilidade inicialmente como uma receita de fato, e somente como provável, tendo em vista que o prazo entre o pedido de homologação e a efetiva venda dos créditos pode ser longo.

Os créditos de carbono vêm sendo comercializados, livremente, há anos no Brasil. Contudo, o mercado ainda não é regulamentado, processo que tramita na Câmara dos deputados através do PL 528/2021.

Se considerados juros de 10% ao ano e incluindo a receita com créditos de carbono, a obra seria quitada após 51 meses, com ganho de mais de R\$ 4.600.000,00 no período do contrato (108 meses).

## 7 CONCLUSÕES

Considerando a quantidade de animais abatidos de 550 unidades dia, em abate contínuo, as características do frigorífico, o custo da energia, tributação e investimentos necessários, entende-se que há viabilidade técnico financeira para implementação de um sistema de tratamento de resíduos orgânicos de origem animal/vegetal, em específico na unidade de abate de bovinos, composto por biodigestor, sistema de separação de resíduos sólidos, filtragem e complexo de geração de energia elétrica, além de outros acessórios.

A princípio, a maior influência da viabilidade financeira são os juros do financiamento, juros maiores que 12,5% podem inviabilizar financeiramente o projeto. Contudo, há a possibilidade de enquadrar o projeto como inovação tecnológica, que habilitaria o projeto a buscar financiamento via BNDES com taxas de juros intermediárias, ou via FINEP com taxas de juros mais atrativas.

Via BNDES considerando juros de 10% em 108 meses de contrato (1 ano de carência para início do pagamento e 8 anos para quitação do capital), estima-se retorno de R\$ 570.000,00.

Pelo FINEP, considerando juros de 7,5%, o ganho esperado é de R\$ 950.000,00 com as mesmas condições anteriores.

O grande ganho sem dúvida seria o ambiental. A redução na emissão de gases do efeito estufa seria na ordem de 160 toneladas de metano ao ano, que deixariam de ser liberados na atmosfera.

Outro ganho secundário seria com a imagem da empresa, podendo ser utilizada como propaganda e enquadrando a empresa como detentora de boas práticas ambientais, além de auxiliar na abertura de mercado e prospecção de novos clientes internacionais.

Há possibilidade de homologação e venda de créditos de carbono, o que em valores atuais poderia auferir receita de aproximadamente R\$ 335.000,00 ao ano. Este valor é semelhante à perspectiva de economia gerada com a produção de energia elétrica, e desta forma, se conseguir a creditação, o tempo da amortização dos investimentos seria reduzido à metade, tornando o investimento bem atrativo.

Se for considerado, em última análise, juros de financiamento de 12,6%, a economia de custos com o projeto seria suficiente para amortizar os investimentos e a venda de créditos de carbono entraria como receita líquida para a empresa. Ainda, nesta condição, após a amortização do investimento, os valores economizados seriam revertidos diretamente para a empresa, tendo em vista que a manutenção do sistema é baixa.

O Brasil possui diversas unidades com capacidade de abate diária de bovinos superiores a 550 animais. Cada caso teria que ser avaliado de forma particular, mas entende-se que o potencial para implementação em outras unidades é bem considerável e atrativo financeiramente para as empresas que atuam na fabricação de equipamentos, elaboração e implementação de projetos, principalmente com o país sendo signatário das metas de redução da emissão de metano do painel de mudanças climáticas da ONU.

Como sugestões para trabalhos futuros, sugerem-se:

- 1) Estudar quantos frigoríficos no Brasil têm potencial prévio para implementação do projeto, entre os 146 médios e grandes frigoríficos existentes.
- 2) Refazer a análise e o estudo técnico financeiro para a geração de biogás em outras unidades frigoríficas.
- 3) Realizar um estudo técnico financeiro para a geração de biogás em cooperativas de agricultores que poderiam aplicar o estudo deste Trabalho de Conclusão de Curso para seus cooperados.
- 4) Estudar individualmente cada etapa do processo, incluindo assim diversas áreas de estudo, como ciências biológicas, ambientais, engenharia química, entre outras.

## REFERÊNCIAS

MEDEIROS, Sidney A. F. de. ET al. **Diagnóstico da expansão da adoção da tecnologia de Tratamento de Dejetos Animais (TDA) no território brasileiro entre 2010 e 2019.** Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília – Dezembro, 2019.

CPFL ENERGIA - Ligação de Autoprodutores em Paralelo com o Sistema de Distribuição da CPFL Norma Técnica. Maio de 2021.

MARIANI, Leidiane. **Biogás: diagnóstico e propostas de ações para incentivar seu uso no Brasil.** Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2018.

CIBIOGAS. **Energias Renováveis.** Relatório de Atividades, 2018

SILVA, Haroldo Wilson da. **Produção de biogás utilizando dejetos leiteiros – Uma alternativa viável para redução de impactos ambientais.** Revista Técnico - Científico do CREA-PR, Setembro 2018.

ABIEC. **Perfil da pecuária no Brasil.** Relatório anual. São Paulo, 2016.

BLANC, Milton Fernando de Jesus. Et al. **Produção de biogás a partir de dejetos da bovinocultura de leite e cama de aviário.** UFPR e UNIOESTE, Cascavel, PR, 2014.

RESENDE, Juliana Alves de. et al. **Dejetos bovinos para produção de biogás e biofertilizante por biodigestão anaeróbica.** Embrapa. Juiz de Fora, MG, Setembro de 2015.

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

EMBRAPA SUÍNOS E AVES. **Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil. Documento 196** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006.

CASTANÓN, N. J. B. **Biogás, originado a partir dos rejeitos rurais. Trabalho apresentado na disciplina: Biomassa como Fonte de Energia - Conversão e utilização.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002.

MILANEZ, Artur Y. et al. **Biogás: Evolução recente do potencial de uma nova fronteira de energia renovável para o Brasil.** BNDES Set., Rio de Janeiro, v. 27, n. 53, p. 177-216, mar. 2021.

CHP Brasil. **Produtos.**  
<https://chpbrasil.com.br/produtos>

**TC SCHOOL - Economia e investimento.**

[https://tc.com.br/tc-school/economia-e-investimentos/mercado-de-creditos-de-arbono?utm\\_term=&utm\\_campaign=&utm\\_source=adwords&utm\\_medium=ppc&hsa\\_acc=6791878774&hsa\\_cam=14070853808&hsa\\_grp=&hsa\\_ad=&hsa\\_src=x&hsa\\_tgt=&hsa\\_kw=&hsa\\_mt=&hsa\\_net=adwords&hsa\\_ver=3&gclid=CjwKCAjw4KyJBhAbEiwAaAQbE4GgWRH5NHKbncyMNsRMtRV67hxudfI17sDzZNhr9e8\\_csORLdadMxoCvJgQAvD\\_BwE](https://tc.com.br/tc-school/economia-e-investimentos/mercado-de-creditos-de-arbono?utm_term=&utm_campaign=&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=6791878774&hsa_cam=14070853808&hsa_grp=&hsa_ad=&hsa_src=x&hsa_tgt=&hsa_kw=&hsa_mt=&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gclid=CjwKCAjw4KyJBhAbEiwAaAQbE4GgWRH5NHKbncyMNsRMtRV67hxudfI17sDzZNhr9e8_csORLdadMxoCvJgQAvD_BwE)

**PENSAMENTO VERDE.**

<https://www.pensamentoverde.com.br/economia-verde/venda-de-carbono-saiba-o-que-e-e-como-calcular-o-carbono-equivalente/>

**BOMAX.**

<https://www.bomax.com.br/blog/57-filtro-prensa-prensamax, 2021>

**BGS Equipamentos para Biogás.**

<https://www.bgsequipamentos.com.br/>

**GESTAL Gestão de energia e utilidades.**

<https://www.gestal.com/>

**CR Clean Air**

<https://www.crcleanair.com/pollutants/ammoniaamines/>

**Vetorlog**

<https://www.vetorlog.com/2021/06/25/como-e-a-matriz-energetica-brasileira/>

**EPE**

<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>

**Climaves**

[http://www.climaves.com.br/mostrar-portfolio/aviario-dark-house-em-cafelandia-\(105-x-14m\)/97](http://www.climaves.com.br/mostrar-portfolio/aviario-dark-house-em-cafelandia-(105-x-14m)/97)

## ANEXO A – NOTAS DE ENERGIA

Tabela A.1 - Composição da tarifa de energia elétrica.

RGE Sul Distribuidora de Energia S.A.		RGE		Uma empresa CPFL Energia		Avenida São Borja, 2801 Bairro Fazenda São Borja CEP 93032-525 - São Leopoldo - RS CNPJ: 02.015.440/0001-62 Inscrição Estadual: 124/0305939							
DISCRIMINAÇÃO DA OPERAÇÃO - RESERVADO AO FISCO													
Cod.	Descrição da Operação	Mês	Quant.	Quant.	Unid.	Tarifa com	Valor Total	Base Cálculo	Aliq.	ICMS	Base Cálculo	PIS	COFINS
115	Nº 905253376276	Ref.	Registrada	Faturada	Med.	Tributos R\$	Operação R\$	ICMS R\$	ICMS%		PIS/COFINS	0,98%	4,56%
0601	USD Consumo Reativo Fora Ponta	JUL/21	9,013	9,013	kWh	0,36831596	3,32	3,32	17,50	0,58	3,32	0,03	0,15
0605	Use Sist Distr Ponta 49,87 Desc	JUL/21	764,160	764,160	KW	26,42500262	20.192,93	20.192,93	17,50	3.533,76	20.192,93	197,89	920,80
0605	Use Sist Distr Ponta 49,87 Desc	JUL/21		95,840	KW	21,52931970	2.063,37				2.063,37	20,22	94,09
0605	Use Sist Distr F Ponta 49,87 Desc	JUL/21	979,640	979,640	KW	17,70351354	17.343,07	17.343,07	17,50	3.035,04	17.343,07	169,96	790,84
0605	Use Sist Distr F Ponta 49,87 Desc	JUL/21		170,360	KW	14,42369101	2.457,22				2.457,22	24,08	112,05
0605	Tusd Enc Cons F Ponta [kWh]	JUL/21	369.537,799	369.537,799	kWh	0,11265592	41.630,62	41.630,62	17,50	7.285,36	41.630,62	407,98	1.898,36
0605	Tusd Enc Cons Ponta [kWh]	JUL/21	39.405,959	39.405,959	kWh	0,11265581	4.439,31	4.439,31	17,50	776,88	4.439,31	43,51	202,43
0699	Subvenção Tarifária	JUL/21					37.345,20	37.345,20	17,50	6.535,41	37.345,20	365,98	1.702,94
	<b>Subtotal</b>						<b>125.475,04</b>						
	<b>Total Distribuidora</b>						<b>125.475,04</b>						
0699	Subvenção Tarifária	JUL/21					4.497,62				4.497,62	44,08	205,09
	<b>Total Outros Serviços</b>						<b>4.497,62</b>						
	Devolução Tusd	ABR/21					683,41-						
0807	Contrib. Custeio IP-CIP Municipal	JUL/21					448,62						
	<b>Total Devoluções/Ajustes</b>						<b>234,79-</b>						
0999	Credito Subv Tarifa TUSD						32.989,32-						
	<b>Total a Pagar</b>						<b>96.748,55</b>						
	<b>Descontos Informativos</b>												
	Ajuste Subvenção	ABR/21					683,41-						
<b>Total Consolidado</b>							<b>96.748,55</b>	<b>120.954,45</b>		<b>21.167,03</b>	<b>129.972,66</b>	<b>1.273,73</b>	<b>5.926,75</b>

Fonte: Espelho da fatura de energia elétrica julho 2021.

Tabela A.2 - Espelha da nota fiscal mercado livre de energia elétrica

CÁLCULO DO IMPOSTO															
BASE DE CÁLCULO DO ICMS		VALOR DO ICMS		BASE DE CÁLCULO DO ICMS SUBSTITUIÇÃO				VALOR DO ICMS SUBSTITUIÇÃO			VALOR TOTAL DOS PRODUTOS				
0,00		0,00		110.831,33				19.395,48			91.435,85				
VALOR DO FRETE		VALOR DO SEGURO		DESCONTO		OUTRAS DESPESAS ACESSÓRIAS		VALOR DO IPI			VALOR TOTAL DA NOTA				
0,00		0,00		0,00		0,00		0,00			110.831,33				
TRANSPORTADOR/VOLUMES TRANSPORTADOS															
RAZÃO SOCIAL				FRETE POR CONTA		CÓDIGO ANTI	PLACA DO VEICULO		UF		CNPJ/CPF				
				9-SEM FRETE											
ENDEREÇO				MUNICÍPIO		UF		INSCRIÇÃO ESTADUAL							
QUANTIDADE		ESPECIE		MARCA		NUMERAÇÃO		PESO BRUTO		PESO LIQUIDO					
DADOS DO PRODUTO / SERVIÇO															
COD. PROD	DESCRIÇÃO DO PROD./SERV.			NCM/SH	CST	CFOP	UN	QUANT.	V.UNITARIO	V.TOTAL	BC.ICMS	V.ICMS	V.IPI	A.ICMS	A.IPI
00004	ENERGIA F. ALTERNAT LP 50%			27160000	030	6252	MWH	410.24700	222,87999	91.435,85	0,00	0,00	0,00	0,00%	0,00%

Fonte: Nota fiscal fornecimento de energia elétrica julho de 2021.