

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS – CAMPUS FORMIGA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
BRUNA CÁSSIA FERREIRA SILVA**

**FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA AUXÍLIO NO DIMENSIONAMENTO
DE BIODIGESTOR MODELO INDIANO**

**FORMIGA – MG
2018**

BRUNA CÁSSIA FERREIRA SILVA

**FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA AUXÍLIO NO DIMENSIONAMENTO
DE BIODIGESTOR MODELO INDIANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Formiga, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Renan Souza Moura

Co-Orientador: Prof. Dr. Ulysses Rondina Duarte

FORMIGA – MG

2018

621.3 Silva, Bruna Cássia Ferreira.
Ferramenta computacional para auxílio no dimensionamento de biodigestor modelo indiano / Bruna Cássia Ferreira Silva. -- Formiga : IFMG, 2018.
166p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Renan Souza Moura
Co-Orientador: Prof. Dr. Ulysses Rondina Duarte
Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus* Formiga.

1. Energias alternativas. 2. Biodigestor. 3. Ferramenta computacional. I. Título.

CDD 621.3

BRUNA CÁSSIA FERREIRA SILVA

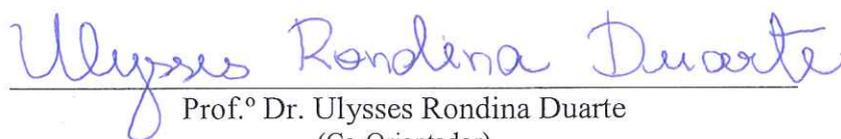
FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA AUXÍLIO NO DIMENSIONAMENTO
DE BIODIGESTOR MODELO INDIANO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas
Gerais – Campus Formiga, como requisito para
obtenção do título de bacharel em Engenharia
Elétrica.

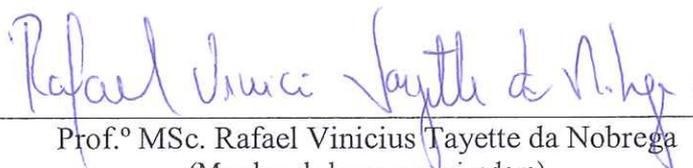
Avaliado em: 21 de Novembro de 2018

Nota: 99

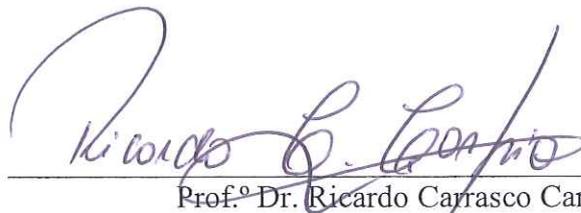
BANCA EXAMINADORA



Prof.º Dr. Ulysses Rondina Duarte
(Co-Orientador)



Prof.º MSc. Rafael Vinicius Tayette da Nobrega
(Membro da banca examinadora)



Prof.º Dr. Ricardo Carrasco Carpio
(Membro da banca examinadora)

*Com imensa saudade e o mais puro amor,
dedico este trabalho ao meu pai, Marcos,
“In Memoriam”. Sua lembrança me inspira
e me faz persistir.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me abençoar, guiar os meus passos e me fazer prosseguir quando meus medos foram maiores que a minha fé.

À minha mãe, Jussara, pelo amor incondicional, pelas orações e por estar sempre ao meu lado.

Aos meus irmãos, Priscila e João Marcos, pelo carinho, incentivo e cumplicidade.

À minha família e amigos, pela amizade, paciência e por serem tão presentes na minha vida.

Aos meus colegas de curso, em especial Ana Bárbara, Andreza e Gabriel, pelo companheirismo e compreensão, por compartilharem tantos momentos de alegrias e dificuldades durante a caminhada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Renan, e ao meu co-orientador, Prof. Dr. Ulysses, pela disponibilidade, orientações e auxílio nesta etapa final da minha trajetória.

Aos professores e funcionários do IFMG - Campus Formiga, por todo conhecimento e suporte concedidos.

À minha amiga e Engenheira Civil, Mariana, pela paciência e auxílio dado na realização da parte orçamentária do trabalho.

Ao meu amigo Renato, pela assistência e por compartilhar o seu conhecimento sobre a linguagem de programação Java.

Ao meu pai, Marcos, pelo seu exemplo de fé, de honestidade e de amor ao próximo. Que o senhor junto de Deus, esteja a compartilhar comigo a nossa conquista!

Enfim, a todos que estiveram comigo e contribuíram para a realização deste sonho, o meu muito obrigada!

RESUMO

Por muitos anos o desenvolvimento econômico e tecnológico ocorreu por meio do extrativismo inconsciente dos recursos naturais e da industrialização baseada em um modelo globalizado de sociedade, sendo esse modelo totalmente dependente de fontes de energia. Dessa forma, o uso desenfreado das fontes fósseis e os descartes industriais inadequados ocasionaram graves impactos ao equilíbrio do meio ambiente. Com o avanço da conscientização global em relação às questões ambientais, surgiu, então, o conceito de desenvolvimento sustentável, no qual utilizam-se os recursos ambientais de modo a não comprometer as necessidades das gerações futuras. Além disso, tal avanço possibilitou a pesquisa e a evolução de fontes de energias alternativas. Dentre essas energias destacam-se a geração de energia elétrica, térmica e mecânica obtidas pelo processo de fermentação da biomassa presente no interior dos biodigestores. O presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma ferramenta computacional que auxilie no dimensionamento do biodigestor modelo indiano, conforme o consumo de biogás ou de acordo com a disponibilidade de matéria orgânica. A partir da ferramenta proposta é possível dimensionar dois tipos de cenários (públicos-alvo): i) geração de energia elétrica por meio da conversão do biogás (sistema motor-gerador) e; ii) suprir a demanda de biogás de uma propriedade. A ferramenta desenvolvida em Java realiza o dimensionamento técnico do biodigestor, fornecendo as dimensões da estrutura, a lista com os materiais de construção a serem utilizados na execução do projeto e, além disso, realiza um estudo sobre a viabilidade econômica do mesmo. A calibração do programa foi realizada por meio da determinação do índice de concordância entre os resultados obtidos pelo *software* e os valores encontrados em estudos de caso registrados na literatura. De acordo com os resultados, foram obtidas concordâncias mínimas de, respectivamente, 83,33%, 99,75%, 93,91% e 81,29% para os estudos de caso 1, 2, 4 e 5, atestando o funcionamento apropriado do *software* desenvolvido. Ressalta-se, também, que a ferramenta computacional proposta neste trabalho apresenta algumas limitações. O programa contempla uma quantidade limitada de tipos de criações de animais, assim, como de equipamentos. Além disso, os valores do diâmetro interno do biodigestor e do tempo de retenção devem ser fornecidos ao *software* como dados de entrada, sendo, então, necessário um estudo específico para cada situação por um profissional da área, antes de realizar o dimensionamento. Contudo, espera-se que o *software* desenvolvido possa auxiliar o projetista minimizando o tempo gasto no projeto e eliminando os erros nos cálculos, garantindo uma confiabilidade maior nos resultados.

Palavras-chaves: Energias alternativas. Biodigestor. Ferramenta computacional.

ABSTRACT

For many years economic and technological development took place through the unaware extraction of natural resources and industrialization based on a globalized model of society, being this model totally dependent on energy sources. In this way, the unrestrained use of fossil sources and inadequate industrial discards have had serious impacts on the environment. With the advancement of global awareness of environmental issues, the concept of sustainable development emerged, in which environmental resources are used so as not to compromise the needs of future generations. In addition, this advance made possible the research and evolution of alternative energy sources. Among these energies stand out the generation of electric, thermal and mechanical energy obtained by the fermentation process of the biomass present inside the biodigesters. The objective of this work is to develop a computational tool that will aid in the design of the indian model biodigester according to the biogas consumption or according to the availability of organic matter. From the proposed tool it is possible to size two types of scenarios (target audiences): i) generation of electric energy through the conversion of biogas (motor-generator system) and; ii) supply the biogas demand of a property. The tool developed in Java performs the technical sizing of the biodigester, providing the dimensions of the structure, the list with the building materials to be used in the execution of the project and, in addition, conducts a study on the economic feasibility of the same. The calibration of the program was performed by determining the index of agreement between the results obtained by the software and the values found in case studies recorded in the literature. According to the results, minimum concordances of 83.33, 99.75, 93.91 and 81.29% were obtained, respectively, for the case studies 1, 2, 4 and 5, attesting to the proper functioning of the developed software. It is also emphasized that the computational tool proposed in this work presents some limitations. The program contemplates a limited amount of types of animal creations as well as equipment. In addition, the values of the internal diameter of the biodigester and the retention time should be provided to the software as input data, and then a specific study for each situation is required by an area professional before carrying out the sizing. However, it is expected that the developed software can assist the designer by minimizing the time spent on the project and eliminating errors in the calculations, ensuring greater reliability in the results.

Keywords: Alternative energies. Biodigester. Computational tool.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fases da biodigestão anaeróbica.....	24
Figura 2 - Taxa de crescimento dos microrganismos metanogênicos com relação à temperatura.....	26
Figura 3 - Etapas do funcionamento do motor de combustão interna ciclo Otto.....	32
Figura 4 - Ilustração do biodigestor indiano.....	38
Figura 5 - Imagem tridimensional do biodigestor indiano, em corte.....	39
Figura 6 - Imagem tridimensional, em corte, do biodigestor chinês.....	40
Figura 7 - Ilustração do biodigestor canadense.....	41
Figura 8 - Imagem do biodigestor do tipo batelada.....	43
Figura 9 - Dimensões do biodigestor: altura total e diâmetro interno.....	50
Figura 10 - Dimensões do gasômetro.....	52
Figura 11 - Inclinação dos tubos de carga e de descarga.....	54
Figura 12 - Altura entre o fundo da câmara de fermentação e os tubos de carga e de descarga.....	55
Figura 13 - Parede divisória da câmara de fermentação e coluna de concreto.....	56
Figura 14 - Marcação da base circular com o gabarito de madeira.....	62
Figura 15 - Construção do vergalhão de ferro que auxiliará na construção da parede circular.....	63
Figura 16 - Marcação da circunferência para a construção da parede cilíndrica.....	64
Figura 17 - Construção das paredes da câmara de biodigestão.....	64
Figura 18 - Parede da câmara de biodigestão e parede divisória construídas.....	65
Figura 19 - Ilustração do sistema de distribuição do biogás.....	67
Figura 20 - Biodigestor Indiano.....	67
Figura 21 - Perfil da produção de biogás em um biodigestor funcionando com e sem o inóculo.....	69
Figura 22 - Fluxograma do funcionamento do <i>software</i>	71
Quadro 1 - Variáveis de entrada técnicas para o dimensionamento conforme a disponibilidade de dejetos.....	73
Quadro 2 - Variáveis de entrada econômicas para o dimensionamento conforme a disponibilidade de dejetos.....	74

Quadro 3 - Variáveis de entrada técnicas para o dimensionamento conforme o consumo de biogás.....	74
Quadro 4 - Variáveis de entrada econômicas para o dimensionamento conforme o consumo de biogás.....	75
Quadro 5 - Dados de saída do dimensionamento técnico do biodigestor.	81
Quadro 6 - Dados de saída da análise econômica para cada um dos três valores do poder calorífico na primeira forma de dimensionamento.	87
Quadro 7 - Dados de saída da análise econômica para cada um dos três valores do poder calorífico na segunda forma de dimensionamento.....	87
Figura 23 - Identidade visual do <i>software</i>	89
Figura 24 - Tela inicial do <i>software</i> BioProgram.	90
Figura 25 - Tela com informações sobre o programa desenvolvido.....	91
Figura 26 - Tela para escolha da forma de dimensionamento.....	92
Figura 27 - Tela de entrada de dados da primeira forma de dimensionamento.	93
Figura 28 - Interface com o relatório do dimensionamento técnico da primeira forma de dimensionamento.	94
Figura 29 - Planilha com os dados do dimensionamento técnico gerada em um arquivo.xlsx na primeira forma de dimensionamento.....	95
Figura 30 - Interface com a planilha orçamentária da primeira forma de dimensionamento. .	96
Figura 31 - Planilha orçamentária do projeto gerada em um arquivo.xlsx na primeira forma de dimensionamento.	97
Figura 32 - Interface com o relatório financeiro do projeto da primeira forma de dimensionamento, para o caso em que o objetivo é produzir o biogás para a geração de energia elétrica.	98
Figura 33 - Interface com o relatório financeiro do projeto da primeira forma de dimensionamento, para o caso em que o intuito é gerar o biogás para o consumo direto nos equipamentos.	99
Figura 34 - Planilha de análise econômica considerando o poder calorífico igual a 4,95 kWh/m ³ da primeira forma de dimensionamento.	100
Figura 35 - Planilha de análise econômica considerando o poder calorífico igual a 6,5 kWh/m ³ da primeira forma de dimensionamento.	100
Figura 36 - Planilha de análise econômica considerando o poder calorífico igual a 7,92 kWh/m ³ da primeira forma de dimensionamento.	101
Figura 37 - Tela de entrada de dados para a segunda forma de dimensionamento.	102

Figura 38 - Interface com o relatório do dimensionamento técnico da segunda forma de dimensionamento.	103
Figura 39 - Planilha com os dados do dimensionamento técnico gerada em um arquivo.xlsx na segunda forma de dimensionamento.	104
Figura 40 - Interface com a planilha orçamentária da segunda forma de dimensionamento.	105
Figura 41 - Planilha orçamentária do projeto gerada em um arquivo.xlsx na segunda forma de dimensionamento.	106
Figura 42 - Interface com o relatório financeiro do projeto da segunda forma de dimensionamento.	107
Figura 43 - Planilha de análise econômica considerando o poder calorífico igual a 4,95 kWh/m ³ da segunda forma de dimensionamento.	108
Figura 44 - Planilha de análise econômica considerando o poder calorífico igual a 6,5 kWh/m ³ da segunda forma de dimensionamento.	108
Figura 45 - Planilha de análise econômica considerando o poder calorífico igual a 7,92 kWh/m ³ da segunda forma de dimensionamento.	109
Figura 46 - Dados de entrada do programa para o estudo de caso 01.	111
Figura 47 - Relatório do dimensionamento técnico do biodigestor indiano para o estudo de caso 01.	112
Figura 48 - Planilha orçamentária para o estudo de caso 01.	113
Figura 49 - Relatório financeiro do projeto para o estudo de caso 01.	114
Figura 50 - Dados de entrada do programa para o estudo de caso 02.	118
Figura 51 - Relatório do dimensionamento técnico do biodigestor indiano para o estudo de caso 02.	119
Figura 52 - Planilha orçamentária para o estudo de caso 02.	120
Figura 53 - Relatório financeiro do projeto para o estudo de caso 02.	121
Figura 54 - Dados de entrada do programa para o estudo de caso 03.	126
Figura 55 - Relatório do dimensionamento técnico do biodigestor indiano para o estudo de caso 03.	127
Figura 56 - Planilha orçamentária para o estudo de caso 03.	128
Figura 57 - Relatório financeiro do projeto para o estudo de caso 03.	129
Figura 58 - Dados de entrada do programa para o estudo de caso 04.	131
Figura 59 - Relatório do dimensionamento técnico do biodigestor indiano para o estudo de caso 04.	132
Figura 60 - Planilha orçamentária para o estudo de caso 04.	133

Figura 61 - Relatório financeiro do projeto para o estudo de caso 04.	134
Figura 62 - Dados de entrada do programa para o estudo de caso 05.	137
Figura 63 - Mensagem de erro para o estudo de caso 05.	138
Figura 64 - Dados de entrada do programa para o estudo de caso 05 considerando o tempo de retenção de 30 dias.	139
Figura 65 - Relatório do dimensionamento técnico do biodigestor indiano para o estudo de caso 05.	140
Figura 66 - Planilha orçamentária para o estudo de caso 05.	141
Figura 67 - Relatório financeiro do projeto para o estudo de caso 05.	142

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tempos de retenção para esterco bovino, suíno e de aves.	27
Tabela 2 - Concentrações dos elementos constituintes do biogás.	29
Tabela 3 - Equivalência do metro cúbico de biogás com relação a outros combustíveis.	30
Tabela 4 - Comparação entre os motores Ciclo Otto e as microturbinas.	33
Tabela 5 - Tempo de retenção do biodigestor de acordo com a finalidade de operação.	47
Tabela 6 - Quantidade de dejetos eliminados por cada animal diariamente.	48
Tabela 7 - Relação de diluição para alguns tipos de dejetos.	49
Tabela 8 - Quantidade de diferentes tipos de dejetos necessários para produzir 1 m ³ de biogás.	52
Tabela 9 - Consumo médio de biogás por cada equipamento.	58
Tabela 10 - Comparativo entre os resultados dos dimensionamentos realizados por Silva (2009) e pelo <i>software</i>	115
Tabela 11 - Consumo de energia elétrica da fazenda do estudo realizado por Figueiredo (2017).	117
Tabela 12 - Comparativo entre os resultados dos dimensionamentos técnicos realizados por Figueiredo (2017) e pelo <i>software</i>	122
Tabela 13 - Comparativo entre os resultados das análises financeiras realizadas por Figueiredo (2017) e pelo <i>software</i> , para o poder calorífico igual a 6,5 kWh/m ³	123
Tabela 14 – Orçamento realizado por Figueiredo (2017) em seu estudo, para a construção do biodigestor indiano.	124
Tabela 15 - Relação dos equipamentos utilizados no exemplo tratado por Lucas Júnior et al. (2009).	130
Tabela 16 - Comparativo entre os resultados dos dimensionamentos técnicos realizados por Lucas Júnior et al. (2009) e pelo <i>software</i>	135
Tabela 17 - Relação dos equipamentos utilizados no estudo realizado por Menezes (2008).	136
Tabela 18 - Comparativo entre os resultados do dimensionamento realizado por Menezes (2008) e os dados dos dimensionamentos técnicos, considerando os tempos de retenção de 30 e 50 dias.	143
Tabela 19 - Comparativo entre os resultados dos dimensionamentos técnicos realizados por Menezes (2008) e pelo <i>software</i> para o tempo de retenção de 30 dias.	144

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

CEB – Companhia Energética de Brasília.

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais.

COP-21 – 21ª Conferência das Partes.

FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations* – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IFB – Instituto Federal de Brasília.

JVM – *Java Virtual Machine* – Máquina Virtual Java.

PCI – Poder Calorífico Inferior.

PCS – Poder Calorífico Superior.

PIB – Produto Interno Bruto.

PVC – Policloreto de Vinila.

SELIC – Sistema Especial de Liquidação e Custódia.

SIN – Sistema Interligado Nacional.

SINAPI – Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil.

TCPO – Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos.

TIR – Taxa Interna de Retorno.

TMA – Taxa Mínima de Atratividade.

VPL – Valor Presente Líquido.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Problemas	18
1.2 Justificativa	19
1.3 Hipótese	20
1.4 Objetivo Geral	20
1.5 Objetivos específicos	21
1.6 Organização do trabalho	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 Biogás	23
2.1.1 Formação do biogás	23
2.1.1.1 Parâmetros que interferem na formação do biogás	25
2.1.1.1.1 <u>Temperatura</u>	25
2.1.1.1.2 <u>PH</u>	26
2.1.1.1.3 <u>Tempo de retenção</u>	27
2.1.1.1.4 <u>Concentração de nutrientes</u>	27
2.1.1.1.5 <u>Toxicidade</u>	28
2.1.1.1.6 <u>Inexistência de ar</u>	28
2.1.2 Composição e características do biogás	28
2.1.3 Formas de aplicação do biogás	30
2.1.3.1 Geração de energia elétrica	31
2.2 Biofertilizante	33
2.3 Biodigestores	34
2.3.1 Breve história sobre os biodigestores	35
2.3.2 Biodigestores contínuos	36
2.3.2.1 Biodigestor modelo indiano	37
2.3.2.2 Biodigestor modelo chinês.....	39
2.3.2.3 Biodigestor modelo canadense.....	41
2.3.3 Biodigestor descontínuo ou batelada	42
2.4 Ferramentas Computacionais	43

3 DIMENSIONAMENTO, CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DO BIODIGESTOR.....	46
3.1 Dimensionamento conforme a carga orgânica disponível	46
<i>3.1.1 Determinação do tempo de retenção e da quantidade de dejetos</i>	<i>47</i>
<i>3.1.2 Dimensionamento da câmara de fermentação</i>	<i>49</i>
<i>3.1.3 Dimensionamento do gasômetro</i>	<i>52</i>
<i>3.1.4 Dimensionamento dos tubos de carga, de descarga e do tubo-guia.....</i>	<i>54</i>
<i>3.1.5 Dimensionamento da coluna de concreto e da parede divisória.....</i>	<i>56</i>
<i>3.1.6 Dimensionamento das caixas de carga e de descarga</i>	<i>57</i>
3.2 Dimensionamento conforme o consumo diário de biogás.....	58
<i>3.2.1 Determinação do volume de biogás e da quantidade de dejetos</i>	<i>58</i>
3.3 Construção do biodigestor indiano.....	60
<i>3.3.1 Abertura do fosso</i>	<i>60</i>
<i>3.3.2 Construção da base e da coluna de concreto.....</i>	<i>61</i>
<i>3.3.3 Construção das paredes da câmara de biodigestão.....</i>	<i>62</i>
<i>3.3.4 Construção das caixas de carga e de descarga</i>	<i>66</i>
<i>3.3.5 Construção do gasômetro</i>	<i>66</i>
3.4 Operação do biodigestor indiano.....	68
4 METODOLOGIA	70
4.1 Estrutura do software	70
4.2 Dados de entrada.....	72
<i>4.2.1 Dados de entrada para a primeira forma de dimensionamento.....</i>	<i>72</i>
<i>4.2.2 Dados de entrada para a segunda forma de dimensionamento</i>	<i>74</i>
4.3 Estudo de viabilidade econômica.....	75
<i>4.3.1 Payback.....</i>	<i>76</i>
<i>4.3.2 Valor Presente Líquido (VPL).....</i>	<i>77</i>
<i>4.3.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)</i>	<i>77</i>
4.4 Banco de dados.....	78
4.5 Dados de saída.....	79
<i>4.5.1 Dimensionamento técnico do biodigestor</i>	<i>79</i>
<i>4.5.2 Potencial de geração de energia elétrica</i>	<i>82</i>
<i>4.5.3 Insumos do projeto</i>	<i>83</i>
<i>4.5.4 Análise financeira</i>	<i>85</i>

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	89
5.1 BioProgram	89
<i>5.1.1 Interface gráfica inicial</i>	<i>90</i>
<i>5.1.2 Interface da primeira forma de dimensionamento</i>	<i>92</i>
<i>5.1.3 Interface da segunda forma de dimensionamento</i>	<i>101</i>
5.2 Estudos de Caso	109
<i>5.2.1 Estudo de Caso 01: IFB – Campus Planaltina</i>	<i>110</i>
<i>5.2.2 Estudo de Caso 02: Fazenda em Campo Belo - MG</i>	<i>116</i>
<i>5.2.3 Estudo de Caso 03: Abordagem do Estudo de Caso 02 para outro público alvo</i>	<i>125</i>
<i>5.2.4 Estudo de Caso 04: Produtor de suínos</i>	<i>130</i>
<i>5.2.5 Estudo de Caso 05: Criação de caprinos</i>	<i>136</i>
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	146
6.1 Trabalhos Futuros	147
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	148
ANEXO A – Formas de aplicação do biogás	154
ANEXO B – Modelos de Conjunto Motor Gerador	156
ANEXO C – Composições de serviços definidas pela TCPO	157
ANEXO D – Preços de insumos definidos pelo SINAPI	166

1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios atuais enfrentados pela humanidade é o aumento da demanda energética advinda do desenvolvimento tecnológico em larga escala. Em todos os setores da sociedade, as atividades humanas são movidas por equipamentos que necessitam de energia, seja no âmbito industrial, comercial, nos meios de comunicação, no transporte e, até mesmo, no lazer (ANEEL, 2008).

Embora esta expansão acentuada do consumo de energia possa refletir o desenvolvimento econômico dos últimos anos e a melhoria da qualidade de vida da sociedade, existem também aspectos negativos. Esta demanda energética é, muitas vezes, suprida por meio da utilização de combustíveis fósseis, que são recursos não renováveis altamente poluentes, que, quando utilizados para a operação de termelétricas, elevam o preço do quilowatt-hora adotado pelas concessionárias de energia elétrica (bandeiras tarifárias). Adicionalmente, outro ponto negativo quanto a utilização de combustíveis fósseis é a possibilidade de esgotamento das reservas de recursos naturais utilizadas para a produção de energia (SIMÃO, 2018).

Com a conscientização global e o conceito de desenvolvimento sustentável, observa-se nos últimos anos um aumento considerável na busca por novos meios para produzir energia de forma abundante e não poluente, destacando-se, assim, as energias renováveis (PEREZ et al., 2010).

Em 2015 na Conferência das Nações Unidas sobre Mudança Climática, COP-21 (21ª Conferência das Partes), em Paris, o Brasil firmou o compromisso de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, expandindo para 23% o uso das fontes renováveis de energia, como a solar, a eólica, a de biomassa, entre outras, até 2030 (SIMÃO, 2018).

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*), o Brasil está entre os maiores países produtores agropecuários do mundo (COMPRE RURAL, 2016). Em decorrência, gera-se, naturalmente, uma grande quantidade de resíduos agropecuários no país, como os dejetos de animais. Ao serem tratados de forma inadequada, esses dejetos contaminam o solo, as águas e contribuem para o aquecimento global. Quando lançados no meio ambiente, estes efluentes liberam o gás metano, o qual apresenta um potencial de poluição 21 vezes maior que o dióxido de carbono, no que se refere ao efeito estufa (OLIVEIRA, 2009).

À vista disso, dentre as diversas fontes renováveis, a geração de energia proveniente da biomassa mostra-se muito promissora para o país, por ser uma forma de tratamento destes resíduos. Por meio do processo de biodigestão anaeróbica dos resíduos, no interior dos biodigestores, ocorre a produção do biogás, que pode ser utilizado para a produção de energia elétrica, térmica e mecânica. Além disso, este processo também produz o biofertilizante; substância com alto teor de nutrientes e microrganismos essenciais para o desenvolvimento das lavouras (PRATI, 2010).

Dessa forma, este trabalho tem o intuito de promover a difusão e a democratização da tecnologia de biodigestão e da autoprodução de energia, por meio da disponibilização de um *software* cujas funcionalidades são o dimensionamento e a projeção econômica da implantação de biodigestores.

1.1 Problemas

De acordo com o Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro, apresentado pelo Ministério de Minas e Energia, 63,9% da produção de energia elétrica no Brasil é proveniente de usinas hidrelétricas, 16,9% de combustíveis fósseis, 9,2% da biomassa e 7,9% de usinas eólicas (MME, 2018). Apesar de ser considerada uma fonte de energia renovável, a energia proveniente das hidrelétricas não está isenta de impactos ambientais, sociais e econômicos. A construção das barragens gera problemas de realocação das populações ribeirinhas, comunidades indígenas e pequenos agricultores. Além disso, causa a destruição de áreas de vegetação natural, assoreamento do leito dos rios, entre outros prejuízos à fauna e à flora locais (FRANCISCO, 2018).

Devido à priorização das usinas hidrelétricas, o país enfrentou nos últimos anos uma grave crise energética. Em períodos de oscilações no regime de chuvas os níveis dos reservatórios diminuem, sendo, então, necessário incorporar as termoelétricas ao sistema elétrico, ocasionando aumentos na tarifa de energia. Além dos custos elevados, o acionamento das termoelétricas causa um impacto negativo para o meio ambiente, uma vez que estas usinas são responsáveis pelas maiores emissões de gases poluentes na atmosfera (SIMÃO, 2018).

Como nota, o maior problema energético enfrentado no estado de Roraima, atualmente, é a questão do fornecimento de energia elétrica pela companhia energética venezuelana Corpolec. Roraima é a única unidade da federação que não está interligada ao sistema elétrico

nacional, dependendo do país vizinho para garantir o abastecimento energético. Devido a uma dívida da Eletronorte, a companhia Corpolec ameaça suspender o fornecimento de energia ao estado. Dessa forma, segundo a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), caso ocorra a suspensão do fornecimento de energia, as usinas termoeletricas de Roraima serão acionadas. Isso irá encarecer os custos e pode ocasionar uma alta no preço da conta de energia de todos os brasileiros, pois esse custo é recuperado no âmbito da Conta de Desenvolvimento Energético, o qual é custeado por todos os consumidores do SIN (Sistema Interligado Nacional) (RODRIGUES, 2018).

Diante disso, o uso de fontes alternativas de energia, como a biomassa, torna-se atrativo. Conforme consta na Resolução 687/2015 da ANEEL, o consumidor que optar por produzir a sua própria energia pagará somente pela diferença entre a energia consumida e a energia gerada. Assim, o uso da energia elétrica proveniente do biogás será uma importante fonte de economia. Neste trabalho será desenvolvido um *software* que realiza o dimensionamento do biodigestor indiano e fornece uma estimativa da economia gerada ao consumidor, devido a substituição da energia proveniente das concessionárias, pela energia produzida a partir da biodigestão anaeróbica dos dejetos de animais.

1.2 Justificativa

Segundo a ABPA (Associação Brasileira de Proteína Animal), o Brasil é um dos maiores produtores, exportadores e consumidores de proteína animal do mundo (ABPA, 2017). Isso faz com que o setor agropecuário tenha uma expressiva participação na economia do país, chegando a representar aproximadamente 7% do PIB (Produto Interno Bruto) no primeiro trimestre de 2018 (SEBRAE, 2018).

Com o crescimento da agropecuária, aumenta-se o número de granjas e, conseqüentemente, resulta em uma quantidade significativa de dejetos, os quais, caso sejam despejados sem o devido tratamento, podem causar sérios danos ao meio ambiente, como já mencionado.

Além disso, de acordo com Portes (2005 apud ALVES, M., 2017), o setor agropecuário apresentou nos últimos anos uma crescente modernização, o que provocou um aumento significativo na demanda de energia elétrica na zona rural. Essa carga encontra-se inúmeras

vezes no fim de cada ramal alimentador, o que acarreta em perdas de distribuição, quedas de tensão e instabilidade no sistema.

Dessa forma, diante dos problemas supracitados, as pesquisas e os investimentos em fontes renováveis de energia, como a cogeração e a geração distribuída a biomassa, apresentam-se necessários e atrativos, não só devido às vantagens ambientais, mas também sociais e econômicas.

Tendo em vista o panorama exposto, o presente trabalho propõe a criação de um programa computacional, que auxilie os projetistas no dimensionamento de biodigestores, de modo a realizá-lo de forma precisa e confiável, em um menor tempo de projeto. Além disso, o *software* é capaz de orientar o produtor rural a tomar a decisão de instalar ou não um biodigestor em sua propriedade, ao analisar a projeção econômica do investimento fornecida pelo programa.

1.3 Hipótese

A crise energética, o esgotamento dos recursos naturais, as mudanças climáticas, entre outros problemas ambientais, impulsionaram a busca e o investimento em fontes alternativas de energia, dentre essas, a geração de energia a partir da biomassa. Assim, as hipóteses que serão respondidas durante a realização deste trabalho são: É viável a construção de um biodigestor como forma de geração distribuída de energia? Caso for viável, qual a economia que a implantação do biodigestor garante ao proprietário? A utilização do *software* facilita o dimensionamento do biodigestor? Os dados fornecidos pelo programa são confiáveis?

1.4 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho consiste em desenvolver uma ferramenta computacional que auxilie no dimensionamento do biodigestor modelo indiano, conforme o consumo de biogás ou a disponibilidade de matéria orgânica existente na propriedade, visando atender dois cenários possíveis (públicos-alvo): i) utilização do biogás produzido como uma fonte de energia térmica ou mecânica e; ii) geração de energia elétrica partir da conversão do biogás (conjunto motor

gerador). Assim, o *software* irá fornecer como resultado as dimensões da estrutura, o orçamento dos insumos necessários para a implantação do biodigestor e a análise de viabilidade econômica do projeto.

1.5 Objetivos específicos

Para consolidar o objetivo geral deste trabalho, é necessário estabelecer alguns objetivos específicos, os quais são:

- Realizar um estudo bibliográfico sobre o processo de biodigestão anaeróbica e seus subprodutos;
- Conhecer o processo de conversão do biogás em energia elétrica, térmica e mecânica;
- Analisar as metodologias de dimensionamento do biodigestor indiano, assim como a sua construção e operação;
- Realizar o levantamento dos insumos necessários para a implantação do sistema e seus respectivos preços;
- Pesquisar sobre os índices utilizados para a análise econômica de investimentos;
- Desenvolver o código fonte do *software* em Java;
- Realizar o dimensionamento de biodigestores indianos tratados em estudos de caso, para validar o funcionamento do programa.

1.6 Organização do trabalho

Este trabalho é composto por seis capítulos, sendo que o segundo capítulo trata do referencial teórico, no qual realiza-se uma explanação sobre o processo de biodigestão anaeróbica, a composição do biogás, a sua aplicação como fonte alternativa de energia e os principais modelos de biodigestores utilizados. Além disso, apresenta-se alguns trabalhos nos quais foram desenvolvidas ferramentas computacionais para o dimensionamento de biodigestores. No terceiro capítulo são descritas as formas de dimensionamento do biodigestor indiano, além da sua construção e operação. A metodologia está descrita no quarto capítulo,

onde são apresentadas todas as estratégias utilizadas para o desenvolvimento do *software*, como os dados de entrada, o estudo de viabilidade econômica, o banco de dados, o orçamento do projeto, o potencial de energia elétrica e os dados de saída. O quinto capítulo apresenta os resultados de testes realizados no programa, em que analisa-se o desempenho da ferramenta computacional desenvolvida por meio dos resultados gerados para o dimensionamento de biodigestores indianos, tratados em alguns estudos de caso. Por fim, o sexto capítulo destaca as considerações finais do trabalho e as propostas para trabalhos futuros a serem desenvolvidos a partir deste.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é realizada a revisão bibliográfica sobre o processo de biodigestão anaeróbica, dando ênfase aos subprodutos gerados, o biofertilizante e o biogás. Além disso, é dissertada a aplicação do biogás, sendo uma fonte energética renovável e alternativa, para a geração de energia elétrica. Em seguida, são abordados, de forma geral, os principais modelos de biodigestores existentes, com destaque especial aos seus componentes. Por fim, são apresentados alguns trabalhos nos quais foram desenvolvidas ferramentas computacionais para o dimensionamento de biodigestores.

2.1 Biogás

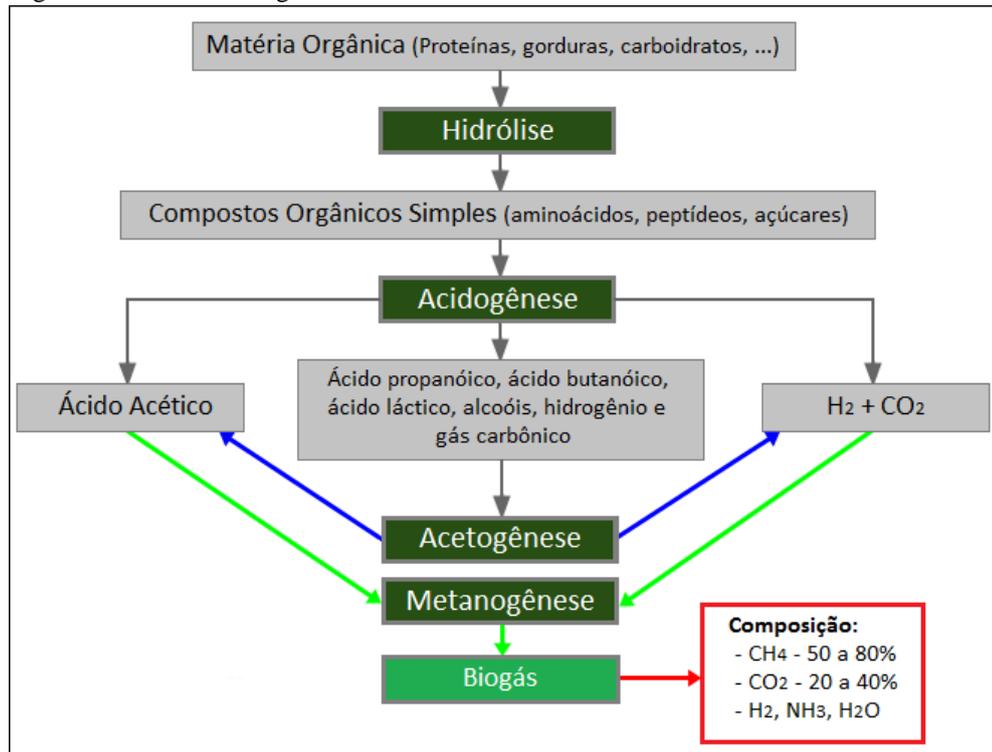
No meio ambiente, a matéria orgânica ao ser decomposta sofre a ação de bactérias anaeróbicas, que são microrganismos que sobrevivem na ausência de oxigênio. Assim, ocorre a fermentação do material orgânico, produzindo, então, o biogás. Existem diversos ambientes favoráveis ao desenvolvimento da biodigestão anaeróbica na natureza, como pântanos, estuários, mares, esterqueiras, lagos, entre outros lugares. Com a descoberta dos biodigestores, este processo anaeróbico passou a ocorrer também no interior destes equipamentos, em suas câmaras de fermentação (PRATI, 2010).

Nesta seção, são apresentados, de forma descritiva, o processo de produção do biogás, a sua composição e as suas aplicações.

2.1.1 Formação do biogás

A biodigestão anaeróbica é um processo biológico que pode ser dividido em quatro fases principais: Hidrólise, Acidogênese, Acetogênese e Metanogênese, conforme indicado pela Figura 1.

Figura 1 - Fases da biodigestão anaeróbica.



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Na fase de Hidrólise, as bactérias fermentativas hidrolíticas liberam enzimas extracelulares no meio, as quais realizam a decomposição da matéria orgânica complexa (material particulado), como carboidratos, gorduras e proteínas, em compostos orgânicos simples (material dissolvido) (ALVES, M., 2017). Assim, somente após esta transformação das partículas maiores em partículas menores e solúveis, inicia-se o processo de biodigestão (PORTAL DO BIOGÁS, 2013).

A segunda etapa do processo é a Acidogênese, na qual, pela ação das bactérias fermentativas acidogênicas, as substâncias resultantes da fase de Hidrólise são transformadas em moléculas menores, como o ácido láctico, o ácido butanóico, o ácido propanóico e alcoóis, além de gás carbônico e de hidrogênio (PORTAL DO BIOGÁS, 2013). A formação dos produtos desta fase depende diretamente da concentração de hidrogênio no meio. Quanto maior for a pressão parcial do hidrogênio, a eficiência da Acidogênese é afetada negativamente, pois ocorre o acúmulo de ácidos orgânicos. Porém, quando a pressão parcial do hidrogênio é baixa, a formação de ácido acético ocorre de forma quase exclusiva (ABBM, 2014).

Posteriormente, na Acetogênese, as bactérias acetogênicas transformam os produtos da fase acidogênica em hidrogênio, dióxido de carbono e ácido acético, por meio do processo de oxidação. Neste estágio, a concentração de hidrogênio deve ser mantida equilibrada pois,

quando há grandes quantidades deste gás, a ação das bactérias é inibida (PORTAL DO BIOGÁS, 2013).

A etapa final do processo de biodigestão anaeróbica é a Metanogênese. Com a ação das bactérias metanogênicas, ocorre a produção de água, de dióxido de carbono e de metano, sendo este o principal gás constituinte do biogás. Os produtos resultantes da fase acetogênica, o dióxido de carbono e o ácido acético, são fundamentais para a formação do metano. Os microrganismos metanogênicos, pertencentes ao grupo ARCHAEA, são sensíveis às alterações no pH. Dessa forma, é necessário adaptar o processo de modo que as bactérias atuem sob um pH adequado e, assim, ocorra a formação do metano (KARLSSON et al., 2014).

A fim de que o processo de biodigestão anaeróbica ocorra apropriadamente e realize a produção do biogás, é preciso uma atenção especial a certas situações que são abordadas a seguir.

2.1.1.1 Parâmetros que interferem na formação do biogás

Os processos anaeróbicos são influenciados pelas condições ambientais. Diante disso, é necessário realizar o controle de parâmetros que afetam a atuação das bactérias envolvidas no processo de digestão anaeróbica, de modo a otimizar a eficiência do sistema de tratamento da matéria orgânica (OLIVEIRA JÚNIOR, 2013). Assim, estando estes fatores devidamente monitorados, consegue-se obter uma produção de biogás em quantidade satisfatória, sendo um gás de qualidade e com alto teor de metano. Segue uma discussão de alguns destes fatores.

2.1.1.1.1 Temperatura

A temperatura é um fator importante a ser considerado na digestão anaeróbica, pois o calor presente no interior do biodigestor é essencial para a atividade enzimática das bactérias, de modo que os microrganismos possam se desenvolver e produzir o biogás em quantidades satisfatórias (KARLSSON et al., 2014).

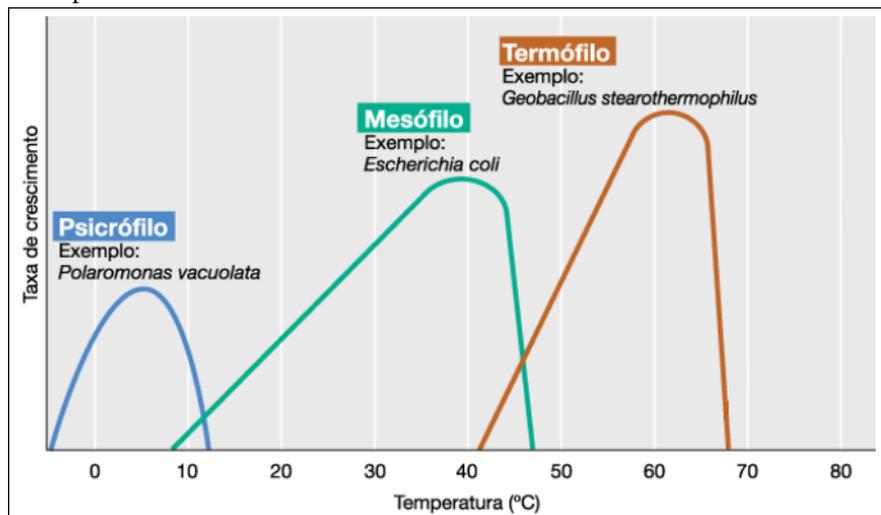
Das culturas envolvidas no processo de biodigestão existem três grupos de microrganismos que são identificados quanto à temperatura; o psicrófilo, no qual a faixa de

temperatura em que as bactérias se desenvolvem é entre 5 °C a 10 °C, o mesófilo, cuja faixa de temperatura é de 20 °C a 45 °C e o termófilo, no qual as bactérias termófilas atuam entre 45 °C a 70 °C. Na fase metanogênica, a maior parte da flora microbiana pertence ao grupo mesófilo. Assim, como esta etapa do processo de biodigestão é a mais eficiente, a temperatura ideal para o interior do biodigestor é em torno de 37 °C (PORTES, 2005).

As bactérias metanogênicas são sensíveis à alterações de temperatura, ou seja, qualquer mudança brusca pode prejudicar a produção do biogás. Portanto, é preciso assegurar uma estabilidade da temperatura, podendo variar não mais que +/- 0,5 °C (KARLSSON et al., 2014). Por isso, de modo a evitar grandes variações de temperatura, os biodigestores são instalados no subsolo.

O desenvolvimento das bactérias metanogênicas, de acordo com a temperatura do meio, é apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Taxa de crescimento dos microrganismos metanogênicos com relação à temperatura.



Fonte: Adaptada de Madigan et al. (2010).

2.1.1.1.2 PH

Além da temperatura, o pH também é um fator significativo. O desempenho do processo de digestão anaeróbica pode ser acompanhado pela medição do pH do meio. Estando o pH acima de 8,0, meio alcalino, a fermentação produz dióxido de enxofre e hidrogênio. Caso o pH esteja abaixo de 6,0, meio ácido, a atividade enzimática das bactérias metanogênicas é inibida (NISHIMURA, 2009).

Desse forma, para favorecer a atuação dos microrganismos na biodigestão, o pH ideal para o meio é o próximo à neutralidade ou mais elevado, entre 6,0 a 8,0, sendo o pH igual a 7,0 o ponto ótimo, quando o processo está em condições normais (OMENA, 2012).

2.1.1.1.3 Tempo de retenção

Outro parâmetro considerável é o tempo de retenção ou tempo de residência, que consiste no período em que a matéria orgânica permanece no interior da câmara de fermentação, isto é, o tempo entre a entrada e a saída do resíduo do digestor. Conforme o tipo de dejetos que é inserido no biodigestor, o tempo de retenção, normalmente, varia entre 20 a 30 dias. A Tabela 1 apresenta o tempo de retenção para alguns tipos de dejetos de animais.

Tabela 1 - Tempos de retenção para esterco bovino, suíno e de aves.

Matéria orgânica	Tempo de retenção (dias)
Esterco bovino líquido	20 – 30
Esterco suíno líquido	15 – 25
Esterco de ave líquido	20 – 40

Fonte: Adaptada de Oliveira (2009).

Algumas mudanças no meio, como o aumento da temperatura ou a agitação do material orgânico, podem reduzir o tempo de retenção, agilizando o processo de geração de biogás (NOGUEIRA, 1986 apud MORAIS, 2012).

2.1.1.1.4 Concentração de nutrientes

A concentração de certos nutrientes, no meio em que acontece a biodigestão anaeróbica, também deve ser observada. Nos processos biológicos, os nutrientes essenciais para o desenvolvimento dos microrganismos são o carbono, o nitrogênio e os sais minerais. Quando há nitrogênio em excesso ocorre a formação de substâncias nitrogenadas, enquanto que, a sua escassez, inibe a atividade bacteriana, devido à formação de amônia. Para garantir o bom

desempenho do processo de produção do biogás, a relação de carbono/nitrogênio ideal deve ser entre 20:1 e 30:1 (KARLSSON et al., 2014).

2.1.1.1.5 Toxicidade

Outro fator que também interfere na digestão anaeróbica é a toxicidade. É necessária uma atenção maior em relação ao uso de antibióticos, desinfetantes e bactericidas nas instalações onde são criados os animais, pois estes podem contaminar o material orgânico que será disposto no biodigestor, causando, assim, a inibição do processo (KARLSSON et al., 2014).

2.1.1.1.6 Inexistência de ar

No interior do biodigestor, como já mencionado, acontece a fermentação da biomassa por meio da ação de microrganismos que se desenvolvem na ausência de oxigênio, isto é, as bactérias anaeróbicas. Estes microrganismos são responsáveis pela produção de metano, o qual pode ser utilizado como combustível e é o elemento principal na composição do biogás. Com isso, para que o processo de digestão seja adequado, o biodigestor deve estar bem vedado para que o oxigênio seja inexistente e, desse modo, possa ocorrer a fermentação. Caso contrário, na presença de oxigênio, a digestão da matéria orgânica irá produzir apenas dióxido de carbono (MORAIS, 2012).

2.1.2 Composição e características do biogás

Conforme foi apresentado, diversos fatores ambientais podem interferir na formação do biogás. Sendo assim, a composição deste gás depende diretamente das condições do meio durante o processo de biodigestão anaeróbica e do material orgânico utilizado (COLDEBELLA, 2006).

Basicamente, o biogás é composto por metano (CH_4) (50% a 80% em volume), dióxido de carbono (CO_2) (20% a 40% em volume), hidrogênio (H_2), nitrogênio (N_2), gás sulfídrico (H_2S) e outros gases em menores concentrações, como pode ser visto na Tabela 2 (COLDEBELLA, 2006).

Tabela 2 - Concentrações dos elementos constituintes do biogás.

Gás	Símbolo	Concentração no biogás (%)
Metano	CH_4	50 – 80
Dióxido de Carbono	CO_2	20 – 40
Hidrogênio	H_2	1 – 3
Nitrogênio	N_2	0,5 – 3
Gás Sulfídrico e outros	H_2S , CO , NH_3	1 – 5

Fonte: Adaptada de Coldebella (2006).

Ao analisar a Tabela 2, percebe-se que o elemento em maior concentração no biogás é o metano. Este gás inodoro e incolor, é considerado altamente combustível e inflamável. Posto isso, o biogás torna-se uma alternativa energética, sendo que seu poder calorífico está diretamente relacionado com a quantidade de metano existente na sua composição (PRATI, 2010). Normalmente, o poder calorífico varia de 5.000 a 7.000 kcal por metro cúbico, porém, pode-se chegar a 12.000 kcal por metro cúbico, se o biogás for submetido a um processo de purificação (GASPAR, 2003).

O poder calorífico representa a quantidade de energia liberada no processo de combustão de uma unidade de massa (ou volume) de um determinado combustível. Geralmente, o combustível é composto por carbono, hidrogênio e oxigênio. Dessa forma, quando ocorre a combustão do mesmo há a formação de água como produto dessa reação, em virtude da presença de hidrogênio, podendo estar no estado líquido, gasoso ou em ambos estados. Caso a água formada se condense é obtido o Poder Calorífico Superior (PCS), mas se a água estiver no estado gasoso é determinado o Poder Calorífico Inferior (PCI) do combustível. Em decorrência disso, o poder calorífico considerado neste trabalho será referente ao PCI (PRATI, 2010).

A Tabela 3 indica a equivalência energética entre o metro cúbico do biogás e outros combustíveis utilizados no cotidiano.

Tabela 3 - Equivalência do metro cúbico de biogás com relação a outros combustíveis.

Combustíveis	1m³ de biogás equivale a
Gasolina	0,613 litros
Querosene	0,579 litros
Óleo diesel	0,553 litros
Gás de cozinha (GLP)	0,454 litros
Lenha	1,536 kg
Álcool hidratado	0,790 litros
Eletricidade	1,428 kW

Fonte: Adaptada de Gaspar (2003).

Apesar de o metro cúbico do biogás ser equivalente a menos de 1 litro dos combustíveis apresentados na Tabela 3, o custo deste gás é menor pois, o gasto para a sua produção é referente à construção do biodigestor. Depois de construído e em funcionamento, o biogás é produzido diariamente em grandes quantidades e com um custo mínimo, apenas o normal para manter os animais vivos e saudáveis (GASPAR, 2003). Em comparação, a utilização dos outros combustíveis apresenta um alto custo por serem derivados do petróleo.

2.1.3 Formas de aplicação do biogás

A composição e as características do biogás apresentadas anteriormente, conferem a este, um elevado conteúdo energético, sendo semelhante ao gás natural, porém, é um combustível limpo e renovável. Sendo uma fonte primária de energia, o biogás pode ser utilizado para a geração de energia térmica, mecânica e elétrica, aquecimento, iluminação, combustível para veículos, entre outras finalidades. Algumas destas aplicações são apresentadas no ANEXO A. Nesta seção, é abordada a aplicação do biogás para a geração de energia elétrica.

2.1.3.1 Geração de energia elétrica

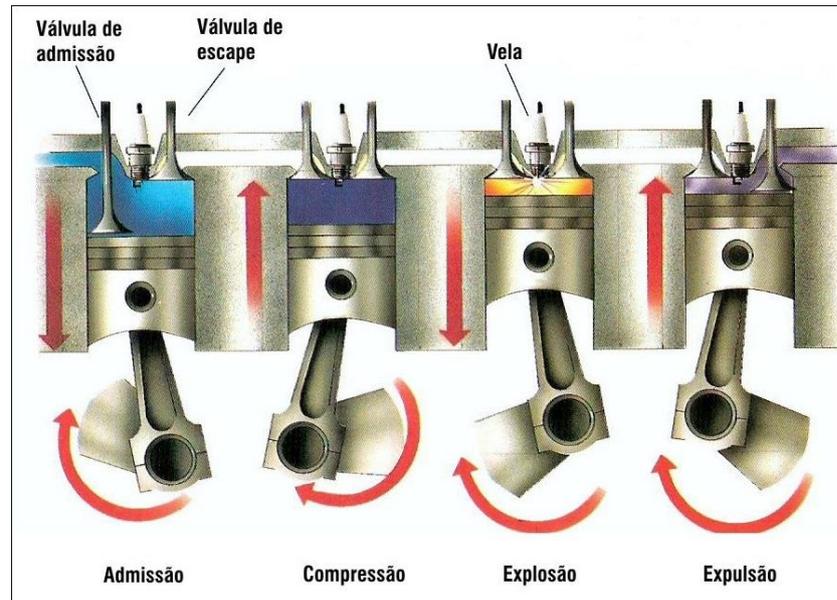
A energia produzida pelo biogás pode ser aproveitada para a geração de energia elétrica, obtendo-se, com isso, uma queda do consumo de energia proveniente da concessionária, ou ainda, havendo excedente na geração, a viabilidade e possibilidade de comercialização desta energia (OLIVEIRA, 2009). Como já mencionado, o poder calorífico do biogás está relacionado com a concentração de metano, de modo que, quanto maior a quantidade deste elemento no biogás, maior será seu potencial energético e, conseqüentemente, mais energia elétrica será produzida (PRATI, 2010).

A transformação do biogás em energia elétrica acontece pela conversão da energia química, presente nas moléculas deste gás, em energia mecânica por meio de um processo de combustão. A energia mecânica gerada movimenta um conjunto motor gerador, sendo então convertida em energia elétrica (OLIVEIRA, 2009).

Existem diversas tecnologias capazes de realizar esse processo de conversão energética, entretanto, atualmente, as microturbinas a gás e os motores de combustão interna de ciclo Otto são as mais utilizadas (OLIVEIRA, 2009).

Para utilizar o motor ciclo Otto com o biogás como combustível, são necessárias pequenas modificações nos sistemas de alimentação, ignição e taxa de compressão (ICLEI-BRASIL, 2009). O funcionamento deste motor ocorre sequencialmente em quatro etapas, sendo estas apresentadas na Figura 3. Primeiro, por meio da válvula de admissão, o motor absorve o ar da atmosfera e o combustível do tanque, formando uma mistura ar-combustível e comprimindo-a no interior do cilindro. Em seguida, estando essa mistura comprimida pelo pistão, o sistema de ignição gera uma centelha elétrica inflamando a mistura. Após a queima do gás, há um deslocamento de massa gerando força, torque e movimento rotativo, alimentando, assim, o gerador de energia elétrica (INFOMOTOR, 2009). Encerrado o processo, os gases queimados são expulsos do motor pela válvula de escape.

Figura 3 - Etapas do funcionamento do motor de combustão interna ciclo Otto.



Fonte: Adaptada de Actualidad Motor (2017).

Devido à sua ignição por centelha, a eficiência volumétrica destes motores abastecidos por biogás é menor, em comparação aos motores que utilizam derivados do petróleo. Porém, motores ciclo Otto alimentados com biogás conseguem trabalhar com uma alta taxa de compressão, compensando a eficiência volumétrica. Assim, aumenta-se a potência efetiva no eixo do motor (SOUZA, 2016).

Este método de conversão de energia elétrica assegura algumas vantagens ao consumidor, isto porque, a energia obtida com o biogás é descontada na fatura e o excedente da produção pode ser trocado por créditos junto à distribuidora de energia. Segundo a Resolução Normativa 687/2015, estes créditos podem ser utilizados no meses seguintes, sendo expirados em 60 meses após a data do faturamento. Embora tenha-se estes benefícios, o custo do investimento para obter esta tecnologia é elevado pois, conforme a potência necessária, os motores ciclo Otto podem ser bem caros e muitas vezes é preciso realizar a sua importação (ICLEI-BRASIL, 2009).

Outro equipamento bastante utilizado para realizar a conversão do biogás em energia elétrica é a microturbina a gás, que também é um motor de combustão interna. O seu funcionamento consiste na sucção do ar combinado com o biogás para o seu interior, com pressão e velocidade elevadas, para ser queimado na câmara de combustão. Com a expansão do gás quente na turbina, a energia térmica é, então, convertida em energia mecânica, acionando, assim, o gerador acoplado ao eixo da turbina (ICLEI-BRASIL, 2009).

O emprego das microturbinas a gás, assim como os motores Ciclo Otto, também possui seus benefícios por substituir a energia das concessionárias pela energia obtida com o biogás. Contudo, esta tecnologia requer um alto custo de investimento, sendo maior quando comparada com outras tecnologias existentes. Além disso, o seu tempo de vida útil operando com o biogás ainda é baixo (SANTOS et al., 2015).

A Tabela 4 apresenta uma comparação entre os motores ciclo Otto e as microturbinas.

Tabela 4 - Comparação entre os motores Ciclo Otto e as microturbinas.

Tecnologia de Conversão	Potência instalada	Rendimento com biogás	Emissões de NO_x (ppm)
Motores Ciclo Otto	30 kW – 20 MW	30% – 34 %	250 – 3000
Microturbinas a Gás	30 kW – 100 kW	24% – 28%	< 9

Fonte: Adaptada de Pecora (2006).

Apesar de os motores de ciclo Otto apresentarem um rendimento melhor em comparação às microturbinas, estes emitem uma grande quantidade de NO_x, sendo este um gás de grande impacto ambiental, como pode ser observado na Tabela 4 (PECORA, 2006).

2.2 Biofertilizante

A biodigestão anaeróbica, além de produzir o biogás, como já referido, também possui como subproduto o biofertilizante. Por se tratar de um material natural, o biofertilizante é uma ótima opção de adubo para a fertilização do solo, visto que, além de ter um baixo custo, em comparação aos fertilizantes químicos, apresenta em sua composição elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas e não provoca danos ambientais (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

Este subproduto não apresenta o cheiro desagradável e característico que os dejetos dos animais possuíam antes da biodigestão. Dessa forma, o biofertilizante não atrai insetos e moscas, além de ser livre de microrganismos patogênicos, que causam doenças nas plantas (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

Sendo um produto rico em matéria orgânica, em média, a composição do biofertilizante é de 0,5% a 3,0% de potássio, 1,0% a 5,0% de fósforo e 1,5% a 4,0% de nitrogênio, além de possuir vários micronutrientes como o ferro, cálcio, zinco, magnésio, manganês, enxofre, entre

outros, o que torna extremamente vantajosa a sua utilização em substituição dos adubos químicos (OLIVEIRA, 2009).

Outro aspecto importante é o seu pH que apresenta-se na faixa de 7,0 a 8,0, geralmente em torno de 7,5, sendo um pH básico. Com isso, o biofertilizante funciona como corretor de acidez do solo. Esse pH elevado dificulta a multiplicação de fungos patogênicos nas plantações (COLDEBELLA, 2006).

Para aplicar o biofertilizante diretamente nas lavouras é preciso que, para cada 1 litro de biofertilizante, sejam adicionados 10 litros de água. A sua utilização, em vários cultivos, vem apresentando um bom êxito, como nos canaviais, cafezais, pastagens, dentre outros. Entretanto, é importante destacar que, no Brasil, a aplicação do biofertilizante no cultivo de hortaliças é proibida, pois estas são ingeridas cruas (AGEITEC, 2018).

2.3 Biodigestores

Ao observar o processo de biodigestão anaeróbica no meio ambiente, o ser humano tomou ciência da possibilidade de produzir gás combustível a partir de resíduos orgânicos, descobrindo, então, os biodigestores, nos quais em seu interior também ocorre a fermentação anaeróbica (PRATI, 2010).

O biodigestor é uma estrutura projetada e construída com a função de fornecer as condições propícias para que o processo de digestão anaeróbica ocorra de forma satisfatória, resultando, assim, na decomposição do material orgânico e, conseqüentemente, na formação do biogás e do biofertilizante (GASPAR, 2003). Esta estrutura é constituída, de um modo geral, de duas partes, um compartimento fechado no qual ocorre a fermentação da biomassa, na ausência de ar, e o gasômetro, onde o biogás produzido é armazenado para o seu aproveitamento ou conversão energética (COLDEBELLA, 2006). Além disso, os biodigestores são normalmente instalados abaixo do nível do solo, de forma que a temperatura no seu interior seja constante e mais elevada, para, assim, evitar que o processo de digestão anaeróbica seja afetado (OLIVEIRA, 2009).

Em relação à sua forma de abastecimento, os biodigestores são classificados em contínuos e descontínuos, sendo estes também intitulados como batelada (GASPAR, 2003). Os contínuos apresentam como característica o abastecimento contínuo de biomassa, podendo ocorrer diariamente, além da produção constante de biogás e biofertilizante. Este tipo de

biodigestor é composto por uma câmara de digestão e duas caixas, uma de carga e a outra de descarga. Os dejetos são colocados na caixa de carga, os quais em seguida, passam para a câmara de digestão, onde ocorrerá a fermentação. Após isto, o biofertilizante é direcionado para a caixa de descarga, onde poderá ser retirado sem precisar abrir o biodigestor. Assim, a saída de biofertilizante é proporcional à entrada de matéria orgânica (ALVES, N. et al., 2010). Entre os biodigestores contínuos mais difundidos estão os modelos chinês, indiano e canadense, também conhecido como fluxo tubular, que são abordados posteriormente (PORTES, 2005).

Já nos biodigestores descontínuos, o abastecimento consiste na adição de todo o material orgânico na câmara de digestão de uma só vez. Dessa forma, após o processo de biodigestão ser finalizado, retira-se o biofertilizante gerado e adiciona-se uma nova recarga de biomassa (ALVES, N. et al., 2010).

A matéria orgânica utilizada como carga para qualquer um desses biodigestores deve ser diluída em água, sendo que a quantidade desta depende do tipo de dejetos (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

Na próxima subseção é apresentado um breve histórico dos biodigestores, assim como os modelos mais utilizados atualmente.

2.3.1 Breve história sobre os biodigestores

A descoberta do biogás ou “gás dos pântanos” data-se do ano de 1667, porém, a presença do metano neste gás foi reconhecida por Alessandro Volta após um século, em 1776. No século XIX, Louis Pasteur e seu aluno Ulysse Grayon realizaram experimentos envolvendo a fermentação anaeróbica de uma mistura de estrume e água, a 35 °C, conseguindo obter 100 litros de gás por m³ de matéria. Com isso, em 1884, Louis Pasteur considerou que esta fermentação podia, então, constituir uma fonte de iluminação e aquecimento (PECORA, 2006). Assim, ao reconhecer o biogás como uma fonte alternativa de combustível, sendo este obtido pelo processo de biodigestão anaeróbica, após várias pesquisas, difundiu-se o uso dos biodigestores.

Em 1857, na cidade de Bombaim na Índia, foi posto em funcionamento o primeiro biodigestor destinado a produzir biogás. Posteriormente, apenas durante a Segunda Guerra Mundial que intensificou-se o uso dos biodigestores, isto, por causa da escassez e da dificuldade de acesso às fontes de combustíveis fósseis. Neste período, os indianos aumentaram as suas

pesquisas com relação aos biodigestores, sendo então desenvolvida, no ano de 1939, a primeira usina a gás de esterco, pelo Instituto Indiano de Pesquisa Agrícola, em Kanpur. Em 1950, devido ao bom êxito desta usina, os indianos criaram o *Gobar Gás Institute* (Instituto de Gás de Esterco), o qual tinha como finalidade difundir a metodologia dos biodigestores como forma de tratamento dos dejetos de animais e, também, de produzir o biofertilizante e o biogás (GASPAR, 2003).

O uso do biogás na Índia, como fonte de energia, motivou o interesse da China por esta tecnologia. Além disso, entre os anos de 1950 e 1960, ocorria a Guerra Fria e os chineses preocupavam-se com a questão energética, pois temiam que algum ataque nuclear afetasse a atividade econômica do país, principalmente a industrial. Assim, a partir de 1958, os chineses adotaram o uso do biogás, onde, até 1972 já haviam sido instalados 7,2 milhões de biodigestores (GASPAR, 2003).

Com a crise energética mundial deflagrada em 1973, os biodigestores tornaram-se uma tecnologia de grande destaque, não somente na Índia e na China, mas em diversos países (GASPAR, 2003). Em 1979, o Brasil iniciou uma busca por meios alternativos de geração de energia, foi então que a empresa Embraer implantou esta tecnologia pela primeira vez no país. Era um biodigestor do modelo chinês, o qual foi construído na “Granja do Torto”, em Brasília. Após isso, o governo passou a estimular a implantação de mais biodigestores no país, de modo a substituir o uso de combustíveis derivados do petróleo por fontes renováveis de energia (MARIANO, 2011). Foram instalados nesta época, cerca de oito mil biodigestores no Brasil (OLIVEIRA, 2009).

Atualmente, os chineses visam nesta tecnologia o biofertilizante para a produção de alimentos necessários ao seu excedente populacional. A energia do biogás não conta muito devido à auto-suficiência em petróleo da China. Já os indianos utilizam os biodigestores para cobrir o imenso déficit energético do país (GASPAR, 2003).

2.3.2 Biodigestores contínuos

Após expor o advento dos biodigestores, esta seção discorre sobre os biodigestores contínuos com maior abrangência no mundo, sendo esses: o indiano, o chinês e o canadense.

2.3.2.1 Biodigestor modelo indiano

Por ser um biodigestor do tipo contínuo, os dejetos de bovinos e de suínos são os mais apropriados para realizar o seu abastecimento por causa da enorme quantidade de resíduos diários que são eliminados por estas criações. Outra característica deste modelo de biodigestor é a sua estrutura, que apresenta seu maior comprimento no sentido vertical, dessa forma, ocupa um espaço menor no terreno onde será implantado, tornando-se vantajoso. Entretanto, deve-se ter uma atenção especial com relação a solos rochosos, pouco profundos e com lençol freático superficial, pois torna-se inviável a sua construção (ALVES, N. et al., 2010).

O biodigestor indiano apresenta em sua estrutura uma caixa de carga, a qual é um compartimento, normalmente, construído em alvenaria, onde serão colocados os dejetos já diluídos em água para serem introduzidos no sistema de fermentação. Os dejetos são conduzidos da caixa de carga para o interior da câmara de biodigestão por meio do tubo de carga, o qual é instalado de forma inclinada, para que a condução do material orgânico seja realizada por gravidade (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

Um dos principais componentes do biodigestor indiano é a câmara de biodigestão, local onde ocorre o processo de biodigestão anaeróbica dos dejetos, resultando na produção do biofertilizante e do biogás. A câmara é construída, geralmente, em alvenaria e no subsolo, de modo a evitar a necessidade de frequentes manutenções e, também, para manter a temperatura no seu interior elevada e constante (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

O biogás produzido pela ação das bactérias anaeróbicas, é armazenado em uma campânula móvel, que fica acoplada na parte superior da câmara de biodigestão. Este compartimento é chamado de gasômetro, o qual permite o fornecimento do biogás com pressão constante, pois se movimentará conforme o volume de biogás presente no seu interior. Deve ser construído com um material impermeável e bastante rígido, para não ocorrer a vazão do biogás (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

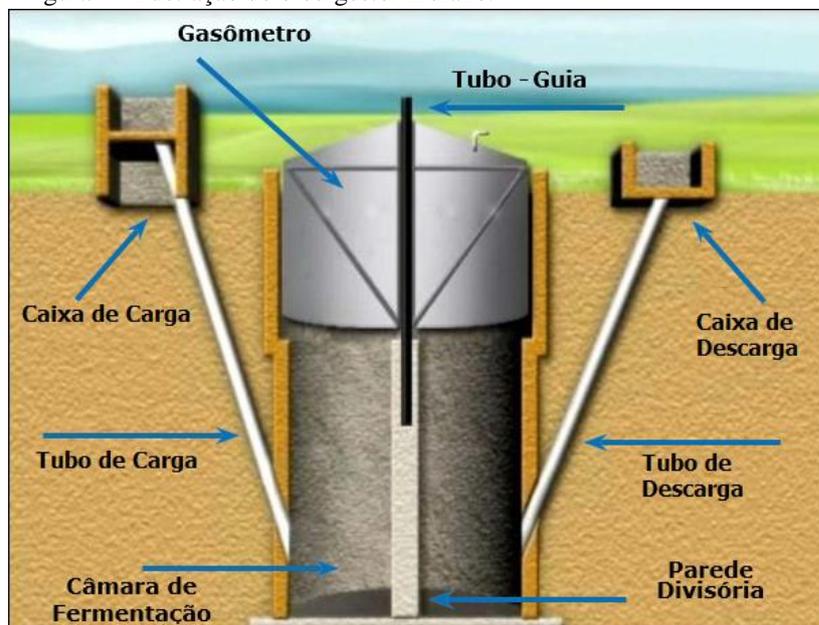
De modo a permitir a saída do biogás confinado, o gasômetro apresenta na sua parte superior um tubo de mesmo material, onde recomenda-se conectar uma mangueira flexível, para que este gás seja direcionado aos pontos de consumo (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

Além disso, para guiar o gasômetro, quando este se locomover para cima ou para baixo, de acordo com o volume de biogás acumulado ou retirado, é instalado no centro da câmara de biodigestão um tubo de ferro galvanizado, denominado de tubo-guia (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

O material orgânico localizado dentro da câmara de biodigestão, após ser fermentado, é conduzido para a caixa de descarga, sendo esta construída em alvenaria. A partir deste compartimento, a matéria orgânica fermentada, ou seja, o biofertilizante, pode ser removido pelo proprietário para ser utilizado. A condução do biofertilizante para a caixa de descarga acontece por meio do tubo de descarga, o qual é, também, instalado de forma inclinada e é feito normalmente de PVC (Policloreto de Vinila), assim como o tubo de carga (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

A Figura 4 apresenta uma ilustração do biodigestor modelo indiano, na qual os componentes discutidos podem ser visualizados.

Figura 4 - Ilustração do biodigestor indiano.



Fonte: Adaptada de Lucas Júnior et al. (2009).

Ao analisar a Figura 4, percebe-se que o biodigestor indiano possui uma parede divisória no seu interior, cuja função é fazer com que a matéria orgânica circule na câmara de fermentação de maneira homogênea, favorecendo a biodigestão (PRATI, 2010). Assim, a carga orgânica que irá abastecer o biodigestor, deve ser praticamente líquida, podendo apresentar apenas 8% de sólidos totais em sua concentração, de modo a facilitar a circulação do resíduo no interior da câmara e evitar o entupimento dos tubos de carga e de descarga (PECORA, 2006).

Uma das vantagens do biodigestor indiano é o fato da sua pressão de operação ser mantida constante, devido ao deslocamento do gasômetro conforme o volume de biogás. Do ponto de vista econômico, este modelo de biodigestor é viável, pois apresenta-se de fácil implantação, contudo dependendo do tipo de material que for utilizado na construção do

gasômetro, como por exemplo o metal, o custo do investimento poderá ter um aumento. Além disso, outro fator que pode encarecer a instalação deste biodigestor é a sua construção distante dos locais de consumo, pois, com isso, os gastos com o deslocamento do biogás tornam-se maiores (PECORA, 2006).

A fim de visualizar e entender melhor a estrutura do biodigestor indiano, a Figura 5 representa uma imagem tridimensional do mesmo, em corte.

Figura 5 - Imagem tridimensional do biodigestor indiano, em corte.



Fonte: Extraída de Prati (2010).

2.3.2.2 Biodigestor modelo chinês

Outro tipo de biodigestor contínuo muito utilizado é o biodigestor chinês. Este modelo de biodigestor é constituído por uma câmara de fermentação, com fundo esférico, acoplada ao gasômetro, o qual possui um formato de abóbada. Toda esta estrutura é construída em alvenaria ou em concreto, totalmente submersa no solo, assim, neste caso, o gasômetro é fixo e não são necessárias chapas de aço para a sua construção, reduzindo-se os custos. Porém, pode ocorrer vazamento do biogás caso a vedação deste compartimento não estiver adequada (DEGANUTTI et al., 2002). Além disso, este biodigestor apresenta outros componentes, que são as caixas e os tubos de carga e de descarga (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

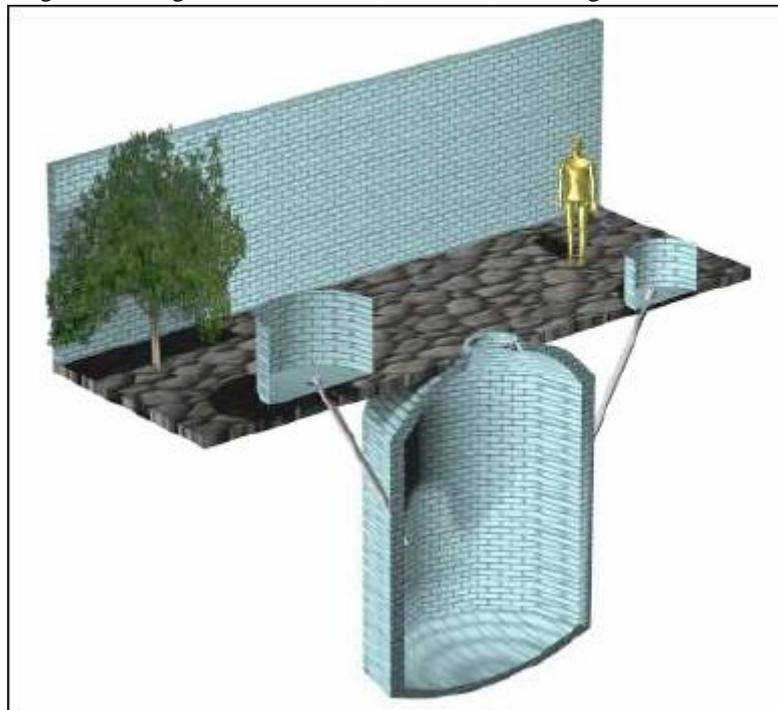
A operação do biodigestor chinês baseia-se no princípio de prensa hidráulica. Uma vez que o gasômetro é fixo, a pressão na parte interna do biodigestor não é constante. Desse modo, quando aumenta-se a produção de biogás, conseqüentemente, há um aumento da pressão no interior da câmara de fermentação, fazendo com que o efluente seja deslocado para a caixa de saída. Entretanto, quando a pressão do gás no interior da câmara diminui, o deslocamento do efluente ocorre de forma contrária, isto é, da caixa de saída para a câmara, sendo este processo conhecido como descompressão (OMENA, 2012).

A instalação deste tipo de biodigestor, normalmente, ocorre em lugares de pequeno e médio porte, onde a produção de biogás é alta. Isso porque, uma parcela do biogás gerado é liberada para a atmosfera pela caixa de saída, com a intenção de reduzir parcialmente a pressão interna do gás (OLIVEIRA, 2009).

Assim, como no biodigestor indiano, o abastecimento do biodigestor chinês é realizado de forma contínua, sendo o seu substrato fornecido diariamente com a concentração de sólidos totais em torno de 8%, para impedir o entupimento dos canos e ajudar na movimentação do resíduo (OLIVEIRA, 2009).

A imagem tridimensional, em corte, do biodigestor chinês é apresentada na Figura 6.

Figura 6 - Imagem tridimensional, em corte, do biodigestor chinês.



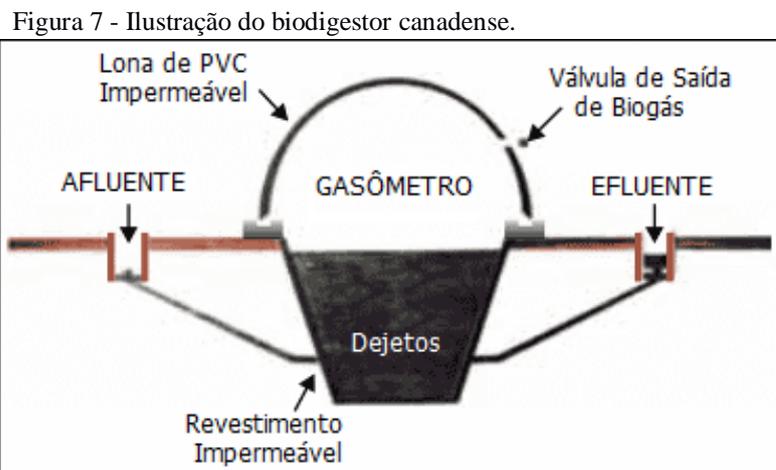
Fonte: Extraída de Prati (2010).

2.3.2.3 Biodigestor modelo canadense

O biodigestor canadense, também conhecido como biodigestor da marinha ou de fluxo tubular, é o mais utilizado no Brasil, devido ao seu baixo custo e fácil instalação, quando comparado aos modelos chinês e indiano (OLIVEIRA JÚNIOR, 2013). Apesar disso, as informações disponibilizadas na literatura sobre o seu dimensionamento, construção e operação são escassas, tornando-se complexa ou imprecisa a modelagem deste sistema.

Este modelo de biodigestor é composto por uma câmara de biodigestão, com formato retangular feita em alvenaria, onde é depositado o material orgânico; e, também pelo gasômetro, o qual é do tipo inflável feito por uma manta de material plástico, situado acima da câmara de biodigestão, onde o biogás produzido é armazenado. Além disso, possui as caixas de carga e de descarga do resíduo orgânico, e um dispositivo para a saída do biogás (NISHIMURA, 2009).

Na Figura 7 pode-se observar a ilustração do biodigestor canadense, com a indicação dos seus componentes.



Fonte: Adaptada de Perdomo et al. (2003).

Este biodigestor caracteriza-se como um modelo do tipo horizontal, pois o seu comprimento é maior que a sua profundidade. Esta geometria permite que uma grande área do biodigestor fique exposta ao sol, favorecendo, então, a ação das bactérias anaeróbicas no processo de biodigestão e, conseqüentemente, provocando um aumento na produção de biogás com uma maior concentração de metano (OLIVEIRA JÚNIOR, 2013).

Além do mais, a estrutura deste biodigestor faz com que este seja bastante empregado em projetos industriais ou agroindustriais, por ser capaz de armazenar uma enorme quantidade

de resíduos para serem fermentados, produzindo, então, um volume considerável de biofertilizante e biogás (OLIVEIRA, 2009).

Em razão do gasômetro ser construído por uma manta de plástico, a pressão do biogás produzido é baixa, assim, a distância entre o biodigestor e o ponto de consumo deve ser no máximo 50 metros. Caso seja necessária uma pressão maior, é recomendado o uso de compressor (OLIVEIRA, 2009).

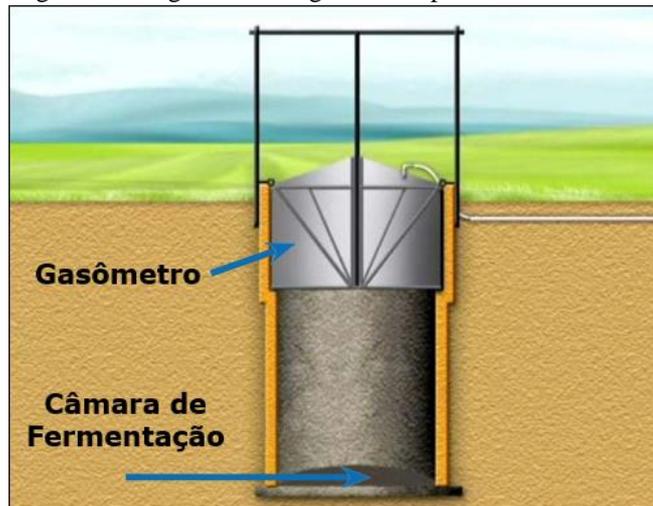
Apesar do biodigestor canadense apresentar como vantagens a sua fácil construção e o menor custo, em relação aos outros modelos de biodigestores, este possui menor durabilidade, é necessária uma grande área para a sua instalação, além de ser mais susceptível à ocorrência de escapamento de biogás, caso a manta plástica seja perfurada (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

2.3.3 Biodigestor descontínuo ou batelada

Existem algumas situações em que não é possível realizar o abastecimento de um biodigestor diariamente, como acontece na avicultura de corte. Isto porque, neste caso, os animais não conseguem eliminar a quantidade de dejetos necessários para preencher um biodigestor contínuo, uma vez que, normalmente, os resíduos são removidos das granjas de 60 em 60 dias, após o final de cada período de produção. Dessa forma, para este tipo de situação, o biodigestor descontínuo é o mais indicado (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

O biodigestor do tipo batelada é composto por uma câmara de fermentação em formato cilíndrico, construída em alvenaria, e um gasômetro móvel, fabricado com material metálico, como pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 - Imagem do biodigestor do tipo batelada.



Fonte: Adaptada de Lucas Júnior et al. (2009).

Como o seu abastecimento não é diário, este modelo não precisa das caixas de carga e de descarga. O material orgânico, já diluído em água, é colocado de uma vez na câmara de biodigestão e é retirado somente após a produção completa do biofertilizante e do biogás, isto é, quando todo o resíduo estiver fermentado. Este período de fermentação pode durar 60 dias ou até mesmo 90 dias, isto conforme o tipo de dejetos utilizados no biodigestor (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

Ao finalizar a produção de biogás e biofertilizante, o ciclo da biodigestão anaeróbica estará completo, dessa forma, o resíduo fermentado é retirado do biodigestor, sendo este limpo para, então, receber uma nova carga de material orgânico e iniciar um novo processo (OMENA, 2012).

Após analisar as informações presentes na literatura sobre os modelos de biodigestores supracitados, optou-se por tratar neste trabalho, exclusivamente, do biodigestor modelo indiano. Na próxima seção, são apresentados trabalhos nos quais foram desenvolvidas ferramentas computacionais que auxiliam no dimensionamento de biodigestores.

2.4 Ferramentas Computacionais

As pesquisas acerca do uso do biodigestor como fonte de geração de energia por meio da conversão da biomassa, se intensificaram devido à busca da humanidade pelas fontes renováveis de energia. Assim, esta tecnologia transitou do empirismo cotidiano para os

laboratórios de pesquisas, onde foram desenvolvidas propostas de diversos modelos de biodigestores, como os apresentados na seção anterior (ALVES, M., 2017).

Isso é retratado por Monteiro Neto (2014) em sua publicação a respeito do estado da arte do desenvolvimento, ao relatar a implantação de biodigestores em propriedades rurais do nordeste brasileiro:

[...] trabalha-se com a perspectiva de valorização não somente do conhecimento do ator isolado, o agricultor familiar, mas também do conhecimento que é gerado em comunidade, somado com a técnica proporcionada por estudos especializados. Embora consista em mecanismo simples e de fácil implantação, é válido salientar que o conteúdo tecnológico do biodigestor não se restringiu ao desenvolvimento da técnica pelo próprio produtor, mas sua inserção no cenário local ocorreu de forma dialógica, em que os próprios atores construíram, pensaram, mudaram mecanismos etc., tornando-se aptos para a multiplicação da experiência (MONTEIRO NETO, 2014, p. 136).

Partindo dessa situação, percebe-se que devido às inúmeras possibilidades e variáveis envolvidas, a tecnologia da biodigestão caracteriza-se de forma experimental e carece de otimização, que como descreve Portes (2005), trata-se da adoção de modelos matemáticos como ferramentas para auxílio em problemas reais, visando determinar o ótimo de uma função.

Assim, o desenvolvimento de um programa computacional torna-se expressivo, uma vez que além de minimizar os erros de cálculos, agiliza o dimensionamento e possibilita o estudo de diversas situações específicas (SIDNEY et al., 2012). Além disso, entende-se também que, da mesma forma relatada por Monteiro Neto (2014), onde ocorreu a multiplicação do conhecimento devido ao compartilhamento da experiência, a disponibilização de um *software* pode promover a difusão da tecnologia envolvida na implantação de biodigestores.

Dessa forma, alguns pesquisadores têm apresentado alternativas para as diversas tecnologias que envolvem o dimensionamento, o projeto, a construção, o uso e a manutenção de biodigestores. Sidney et al. (2012), desenvolveram um programa computacional para auxiliar no dimensionamento de biodigestores dos modelos chinês e indiano. Para o trabalho, os autores utilizaram a linguagem de programação Java e as Heurísticas de Nielsen, sendo o processamento realizado por meio de fluxogramas de cálculos que detalham os procedimentos de cada modelo. O usuário deve fornecer valores e, após o processamento dos dados, o programa apresenta como resultado um memorial descritivo técnico.

Portes (2005) propôs em sua pesquisa a confecção de um aplicativo computacional, desenvolvido no sistema MATLAB, para auxiliar no projeto de construção de biodigestores rurais dos modelos indiano, chinês e batelada. O usuário insere os dados referentes ao consumo de energia dos equipamentos da propriedade, ao número de pessoas na propriedade e às

características do substrato que irá alimentar o biodigestor, como o tipo e quantidade. Assim, o *software* realiza o processamento dos dados e escolhe o tipo de biodigestor que melhor se adapta às necessidades do usuário, retornando como resultado os valores de parâmetros de projeto e uma lista de materiais de construção.

Outro trabalho que trata sobre o desenvolvimento de um programa computacional é a pesquisa realizada por Alves M. (2017), na qual é proposta a criação de um *software* cuja função é realizar o dimensionamento técnico e econômico para o biodigestor modelo tubular. O programa foi desenvolvido na linguagem de programação C++. Na entrada do *software*, devem ser fornecidos os dados referentes ao tipo e a quantidade de animais presentes na propriedade, além dos gastos com energia de três meses. De posse desses dados, o programa realiza os cálculos necessários e apresenta como resultado o dimensionamento técnico e a análise econômica do projeto.

A ferramenta computacional proposta neste trabalho, tem por objetivo auxiliar no dimensionamento do biodigestor modelo indiano, fornecendo os resultados do dimensionamento técnico, um orçamento da construção do biodigestor e a análise de viabilidade econômica da implantação do projeto. Os métodos de dimensionamento adotados para o desenvolvimento do *software* são apresentados no próximo capítulo.

3 DIMENSIONAMENTO, CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DO BIODIGESTOR

Conforme apresentado na Seção 2.3, existem diversos modelos de biodigestores, entretanto, a determinação do tipo de biodigestor a ser implantado é em função: do tipo de substrato a ser utilizado no processo de biodigestão; da frequência, da disponibilidade e da forma de manipulação do material a ser digerido; da topografia do local a ser construído; do clima da região; da quantidade, da periodicidade e da pressão necessária para utilização do biogás. Assim, somente após um estudo de viabilidade de todos esses fatores, é possível indicar o modelo de biodigestor que melhor se adapta às exigências solicitadas e, dessa forma, realizar o seu dimensionamento (TEIXEIRA, 1985).

A decisão de implementar neste trabalho um *software* que realize o dimensionamento do biodigestor modelo indiano, deve-se ao fato de que na literatura encontram-se poucas pesquisas que tratam detalhadamente do dimensionamento, da construção e da operação de outros modelos de biodigestores; sendo essas informações importantes para o desenvolvimento de um programa preciso e confiável. Além disso, o biodigestor modelo indiano é um dos modelos mais utilizados por apresentar poucas chances de escapamento de biogás, possuir uma estrutura de fácil implantação e com maior durabilidade, além de fornecer o biogás com pressão constante (FIGUEIREDO, 2017).

Este capítulo trata, exclusivamente, do dimensionamento, da construção e da operação do biodigestor modelo indiano, considerando a metodologia apresentada por Lucas Júnior et al. (2009). São abordadas duas formas de dimensionamento: a primeira de acordo com a disponibilidade de dejetos e a segunda conforme o consumo de biogás pelos equipamentos da propriedade.

3.1 Dimensionamento conforme a carga orgânica disponível

O dimensionamento do sistema de biodigestão anaeróbica é realizado de acordo com a finalidade do projeto: quando tem a função de atender às necessidades energéticas da propriedade, por meio do uso do biogás, ou quando pretende reduzir a carga orgânica poluente de resíduos (SILVA, 2015).

Nesta seção é discutido o dimensionamento do biodigestor indiano visando a utilização de todo o material orgânico disponível diariamente na propriedade, de modo a produzir o biogás e o biofertilizante.

3.1.1 Determinação do tempo de retenção e da quantidade de dejetos

Para iniciar o dimensionamento, deve-se definir o tempo de retenção do biodigestor. A Tabela 5 apresenta os valores de tempo de retenção que são determinados de acordo com a finalidade de operação do sistema de biodigestão.

Tabela 5 - Tempo de retenção do biodigestor de acordo com a finalidade de operação.

Finalidade	Tempo de retenção em dias
Produção de biogás	10 a 20
Produção de biofertilizante	50 e 60
Produção de biogás e biofertilizante	30

Fonte: Adaptada de Lucas Júnior et al. (2009).

A construção de um biodigestor, normalmente, tem por intuito produzir biogás e biofertilizante, sendo muitas vezes adotado o tempo de retenção de 30 dias, como mostrado na Tabela 5. Entretanto, este período pode variar conforme cada projeto.

Definido o tempo de retenção, o próximo passo é determinar a quantidade diária de dejetos disponíveis para abastecer o biodigestor. A Tabela 6 mostra a quantidade de dejetos, isto é, fezes e urina, que alguns animais eliminam por dia.

Tabela 6 - Quantidade de dejetos eliminados por cada animal diariamente.

Animal	Dejetos por animal por dia (kg)
Vaca leiteira	25
Bovino de corte	15
Suíno de 25 a 100 kg	2,3
Cachaço	6
Porca em gestação	11
Leitão na creche	0,95
Galinha	0,18
Caprino	0,5

Fonte: Adaptada de Lucas Júnior et al. (2009) e Dominiak et al. (2016).

A quantidade de dejetos eliminados, diariamente, por cada animal está diretamente relacionada com o peso do mesmo, sendo correspondente a 6% do peso do animal (OLIVEIRA JÚNIOR, 2013). Como pode ser observado na Tabela 6, um boi de corte produz por dia, em média, 15 kg de dejetos, sendo assim, é considerado que o peso médio do boi de corte é 250 kg.

Com base nos dados apresentados na Tabela 6, para determinar a quantidade total de dejetos produzidos no local, deve-se, então, realizar o somatório da multiplicação do número de animais presentes em cada criação, pela quantidade de dejetos eliminados por dia, correspondente ao tipo de animal, conforme mostra a Equação (1):

$$quantidade\ de\ dejetos = \sum_{i=1}^{n=criações} (animais \times dejetos\ diários)_i [kg] \quad (1)$$

Após saber a quantidade total de dejetos que é produzida por dia na propriedade, deve-se determinar a quantidade de água que será necessária para realizar a diluição deste material orgânico. Isto porque, o biodigestor deve ser preenchido com dejetos diluídos em água, de modo que o processo de biodigestão ocorra adequadamente, produzindo o biogás e o biofertilizante (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

Para cada tipo de dejeito, é preciso uma certa quantidade de água. A Tabela 7 apresenta algumas relações entre a quantidade de dejetos e a quantidade de água a ser utilizada na diluição.

Tabela 7 - Relação de diluição para alguns tipos de dejetos.

Tipo de dejetos	Relação de diluição (dejetos:água)
Bovino	1:1
Suíno	1:2
Aves	1:3
Caprino	1:4

Fonte: Adaptada de Lucas Júnior et al. (2009) e Dominiak et al. (2016).

Para compreender melhor, considere o seguinte exemplo: uma propriedade rural dispõe de uma criação de bovinos, com 20 bois de corte, e uma criação de suínos, com 10 porcas em gestação. A quantidade de dejetos eliminados por dia no local, segundo os dados apresentados na Tabela 6, são 300 kg de dejetos bovinos e 110 kg de dejetos suínos, sendo, então, 410 kg de dejetos diários no total.

A fim de diluir esses dejetos que irão abastecer o biodigestor, serão necessários 520 litros de água por dia. Isso visto que, como mostra a Tabela 7, a relação de diluição do esterco bovino é 1:1, ou seja, para cada parte de dejetos é preciso uma parte de água, enquanto que, para o caso do esterco suíno a relação é de 1:2. Dessa forma, 300 litros de água são precisos para diluir a quantidade de dejetos bovinos e 220 litros para diluir os dejetos suínos.

A coleta dos dejetos nas instalações pode ser realizada pelo método de raspagem, que é uma técnica simples, a qual permite até mesmo a utilização de vassouras como auxílio, e, também, pode ser feita por meio de água pressurizada (LUCAS JÚNIOR et al., 2009). Nesta última técnica, é importante saber a quantidade de dejetos, de modo a calcular a quantidade de água que seria necessária para removê-los, pois, esta água já serviria para realizar a sua diluição.

3.1.2 Dimensionamento da câmara de fermentação

De posse destas informações, tempo de retenção, quantidade de dejetos e quantidade de água, consegue-se calcular o volume do biodigestor. Primeiro, determina-se a carga diária que será armazenada no biodigestor, sendo esta a soma da quantidade de dejetos com a quantidade de água, como é apresentado na Equação (2):

$$\text{carga diária} = \text{quantidade de dejetos} + \text{quantidade de água [L]} \quad (2)$$

Com o valor da carga diária, estima-se o volume útil do biodigestor (V_B *útil*) pela Equação (3) apresentada a seguir:

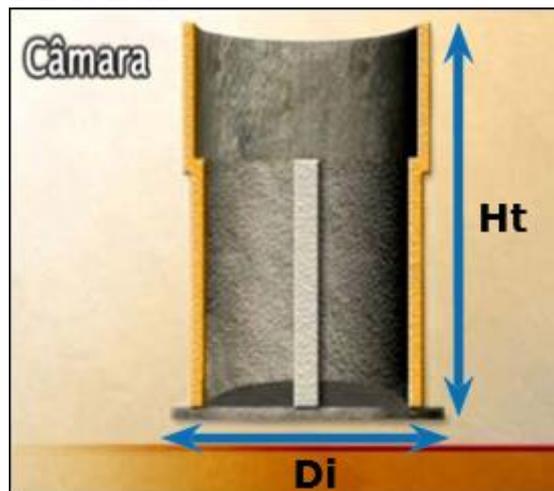
$$V_B \text{ útil} = \frac{\text{carga diária} \times \text{tempo de retenção}}{1000} [m^3] \quad (3)$$

O biodigestor indiano possui no interior da câmara de fermentação uma parede divisória, como já mencionado na revisão bibliográfica deste trabalho. Dessa forma, para calcular o volume bruto do biodigestor (V_B *bruto*), é necessário considerar o volume desta parede. Assim, calcula-se o volume bruto aumentando-se em 10% o volume útil estimado, como está representado na Equação (4):

$$V_B \text{ bruto} = V_B \text{ útil} \times 1,10 [m^3] \quad (4)$$

Conhecendo-se o valor do volume total do biodigestor, consegue-se, então, determinar a altura total do mesmo e o seu diâmetro interno. Na Figura 9 estão especificadas estas dimensões.

Figura 9 - Dimensões do biodigestor: altura total e diâmetro interno.



Fonte: Extraída de Lucas Júnior et al. (2009).

Para um melhor rendimento do biodigestor, existe uma faixa aceitável para a relação Di_B/H_B (diâmetro interno do biodigestor/altura útil), sendo esta apresentada na Equação (5):

$$0,6 \leq \frac{Di_B}{H_B} \leq 1,0 \quad (5)$$

Tratando-se de um biodigestor com menos de 10 m³ de volume bruto, esta relação deve ser próxima de 0,6, de modo a evitar influências climáticas no biodigestor por se encontrar muito próximo da superfície. Caso um biodigestor seja dimensionado e o seu volume bruto for maior que 10 m³, esta razão deve ser mais próxima de 1,0, para proporcionar uma maior eficiência de fermentação (BÚ ARAÚJO et al., 2015).

O projetista deve supor um valor para o diâmetro interno do biodigestor respeitando a faixa de valores apresentada na Equação (6):

$$2,0 \text{ m} \leq Di_B \leq 6,0 \text{ m} \quad (6)$$

Assim, com o valor do diâmetro interno, calcula-se a altura do biodigestor pela Equação (7):

$$H_B = \frac{4 \times V_B \text{ bruto}}{\pi \times (Di_B)^2} [m] \quad (7)$$

A altura determinada pela Equação (7) é denominada de altura útil, entretanto, é preciso calcular a altura total do biodigestor. Para isso, basta adicionar à altura útil 0,15 m, correspondente ao desnível causado pela pressão do biogás, e mais 0,10 m, como uma taxa de segurança, para evitar o transbordamento do material orgânico (BÚ ARAÚJO et al., 2015). Dessa forma, adiciona-se ao todo 0,25 m à altura útil do biodigestor, obtendo-se, então, o valor da altura total do biodigestor (Ht_B), como é apresentado na Equação (8):

$$Ht_B = H_B + 0,25 [m] \quad (8)$$

3.1.3 Dimensionamento do gasômetro

Após serem definidas as dimensões da câmara de fermentação, calculam-se as dimensões do gasômetro, sendo estas apresentadas na Figura 10.

Figura 10 - Dimensões do gasômetro.



Fonte: Extraída de Lucas Júnior et al. (2009).

Para dimensionar o gasômetro, primeiramente, é preciso determinar o quanto de biogás é produzido por dia na propriedade. A Tabela 8 mostra a quantidade média de dejetos necessários para produzir 1 m³ de biogás, de acordo com o tipo de dejetos.

Tabela 8 - Quantidade de diferentes tipos de dejetos necessários para produzir 1 m³ de biogás.

Tipo de dejetos	Quantidade média de dejetos para produzir 1 m³ de biogás (kg)
Bovino	25
Suíno	11,3
Aves	5
Caprino	16,4

Fonte: Adaptada de Lucas Júnior et al. (2009) e Dominiak et al. (2016).

Portanto, para determinar o volume diário de biogás produzido, deve-se realizar o somatório da divisão da quantidade de dejetos eliminados por dia, pela quantidade média de dejetos necessários para produzir 1 m³ de biogás, de acordo com cada tipo de animal, segundo a Equação (9):

$$volum\ e\ de\ biog\ a\ s/dia = \sum_{i=1}^{n=cria\ c\ o\ e\ s} \left(\frac{quantidade\ de\ dejetos}{dejetos/1\ m^3\ de\ biog\ a\ s} \right)_i [m^3] \quad (9)$$

Conforme a Tabela 8, 25 kg de dejetos bovinos produzem 1 m³ de biogás, assim como 11,3 kg de dejetos suínos. Dessa forma, considerando a Equação (9) e o exemplo proposto anteriormente, no qual a propriedade com 20 bois de corte e 10 porcas em gestação produz 300 kg de dejetos bovinos e 110 kg de dejetos suínos, o volume diário de biogás produzido nesta propriedade é, aproximadamente, 21,73 m³, sendo, 12 m³ produzidos pelo esterco bovino e 9,73 m³ pelo esterco suíno.

Assim, calculado o volume de biogás produzido por dia, é possível, então, determinar o volume do gasômetro (V_G), conforme a Equação (10):

$$V_G = \frac{volum\ e\ de\ biog\ a\ s/dia}{2} [m^3] \quad (10)$$

O diâmetro do gasômetro (D_G) está relacionado, diretamente, com o diâmetro interno do biodigestor. Para ser calculado, deve-se acrescentar apenas 0,1 m, como mostra a Equação (11):

$$D_G = Di_B + 0,1 [m] \quad (11)$$

Essa diferença entre os diâmetros deve existir para evitar a saída de bolhas de biogás entre a parede interna do biodigestor e a parede externa do gasômetro (PORTES, 2005).

Sabendo os valores do volume e do diâmetro do gasômetro, determina-se, então, a altura útil do gasômetro (H_G) por meio da Equação (12):

$$H_G = \frac{4 \times V_G}{\pi \times (D_G)^2} [m] \quad (12)$$

Assim, com o valor da altura útil do gasômetro, calcula-se a sua altura total. Como no cálculo da altura total do biodigestor, para calcular a altura total do gasômetro, também considera-se o desnível causado pela pressão do biogás e a taxa de segurança para evitar

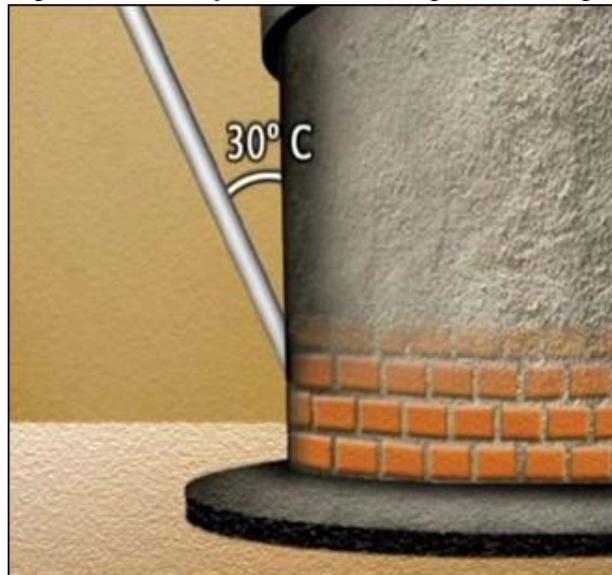
transbordamento, ambos com os mesmos valores já apresentados. Dessa forma, a altura total do gasômetro (Ht_G) é estimada conforme mostra a Equação (13):

$$Ht_G = H_G + 0,25 [m] \quad (13)$$

3.1.4 Dimensionamento dos tubos de carga, de descarga e do tubo-guia

Os tubos de carga e de descarga do biodigestor indiano devem ser instalados com uma inclinação em torno de 30° , como mostra a Figura 11, para facilitar o deslocamento dos dejetos da caixa de entrada até a câmara de fermentação, e desta para a caixa de saída (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

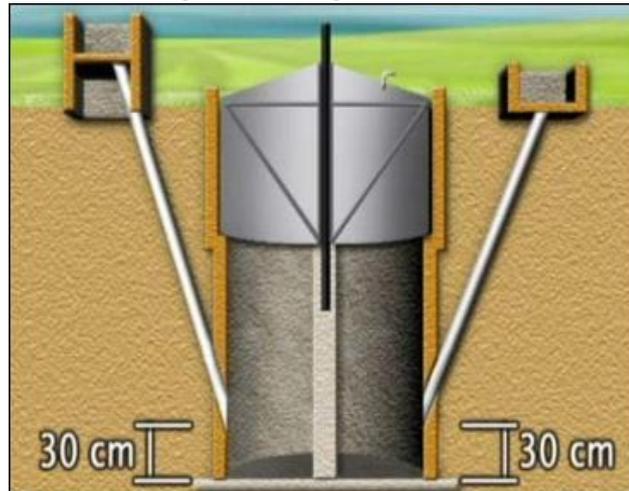
Figura 11 - Inclinação dos tubos de carga e de descarga.



Fonte: Extraída de Lucas Júnior et al. (2009).

Além disso, a altura destes tubos até o fundo da câmara deve ser igual a 30 cm, de modo a impedir que as impurezas mais pesadas interfiram na condução dos dejetos, como é apresentado na Figura 12 (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

Figura 12 - Altura entre o fundo da câmara de fermentação e os tubos de carga e de descarga.



Fonte: Extraída de Lucas Júnior et al. (2009).

Também, é recomendado que tenha-se uma distância de afastamento entre o final do cano de descarga e o biodigestor, sendo esta correspondente a 1,6 m. Assim, com essas informações, calculam-se os comprimentos desses tubos.

Primeiro dimensiona-se o tubo de descarga, isto porque, este tubo e a parede do biodigestor estão no mesmo nível no solo. Para compreender melhor o seu dimensionamento, observa-se a Figura 12. Como pode-se perceber, a altura total do biodigestor menos a altura entre o fundo da câmara de fermentação e o tubo de descarga; a inclinação do tubo de descarga; e a distância entre o cano de descarga e a parede do biodigestor, formam um triângulo retângulo. Desse modo, é possível calcular o comprimento do tubo de descarga, como é apresentado na Equação (14):

$$\text{tubo de descarga} = \sqrt{(Ht_B - 0,3)^2 + (\text{afastamento})^2} \text{ [m]} \quad (14)$$

O comprimento do cano de carga é praticamente o mesmo, porém, como a caixa de carga está a 0,6 m acima do solo, esse valor deve ser somado ao comprimento do tubo. Logo, o comprimento do cano de carga é determinado pela Equação (15):

$$\text{tubo de carga} = \text{tubo de descarga} + 0,6 \text{ [m]} \quad (15)$$

Na Figura 12, nota-se também um tubo de ferro, presente no interior do biodigestor. Este tubo é o chamado tubo-guia, cuja dimensão, normalmente, é estimada em torno de 10% a

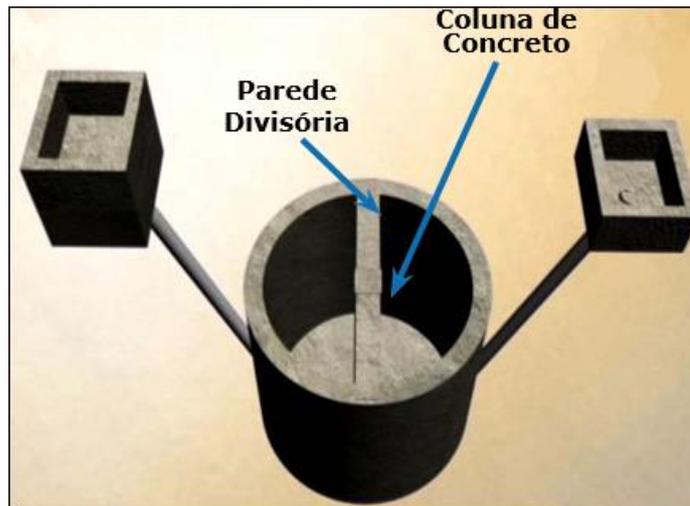
mais que a altura total do gasômetro. Portanto, o seu comprimento é determinado conforme a Equação (16):

$$tubo - guia = Ht_G \times 1,10 [m] \quad (16)$$

3.1.5 Dimensionamento da coluna de concreto e da parede divisória

No interior da câmara de fermentação há uma parede divisória e uma coluna de concreto, na qual é instalado o tubo-guia, como é mostrado na Figura 13.

Figura 13 - Parede divisória da câmara de fermentação e coluna de concreto.



Fonte: Extraída de Lucas Júnior et al. (2009).

Esta parede deve possuir espessura em torno de 20 cm e a coluna de concreto, normalmente, 25 cm de lados (LUCAS JÚNIOR et al., 2009). A parede divisória e a coluna de concreto terão a mesma altura (H_p), sendo esta a diferença entre a altura total do biodigestor e a altura total do gasômetro, conforme apresenta a Equação (17):

$$H_p = Ht_B - Ht_G [m] \quad (17)$$

3.1.6 Dimensionamento das caixas de carga e de descarga

Por fim, realiza-se o dimensionamento das caixas de carga e de descarga do biodigestor. A finalidade dessas caixas é armazenar o material orgânico antes e depois do processo de fermentação, portanto, seus volumes dependerão da razão entre o volume total de dejetos que serão inseridos no biodigestor e o tempo de retenção. Ou seja, essas caixas deverão armazenar a quantidade de dejetos inseridos diariamente. Porém, para ter uma margem de segurança, recomenda-se que essa razão tenha um acréscimo de 15%. Assim, a capacidade dessas caixas é determinada pela Equação (18):

$$\text{volume das caixas} = \frac{V_B \text{ bruto}}{\text{tempo de retenção}} \times 1,15 \text{ [m}^3\text{]} \quad (18)$$

É recomendado que a altura total da caixa de carga seja igual a 1,20 m, sendo que a parte interna do fundo da mesma deverá ser construída a 0,6 m acima do solo. Dessa forma, os 0,6 m restantes correspondem a altura da parte interna desta caixa. Quanto à caixa de descarga, a sua altura interna deverá ser equivalente a 0,6 m, porém, esta será construída com a parte interna do fundo no mesmo nível do solo (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

As dimensões das caixas de carga e de descarga são obtidas em função de seus volumes e de suas alturas internas. Como ambas apresentam o mesmo volume e a mesma altura interna, correspondente a 0,6 m, as dimensões dos seus lados serão as mesmas, sendo essas determinadas pela Equação (19):

$$\text{medidas dos lados das caixas} = \sqrt{\frac{\text{volume das caixas}}{\text{altura interna das caixas}}} \text{ [m]} \quad (19)$$

Terminado o dimensionamento de todos os componentes, consegue-se, então, realizar a construção do biodigestor do tipo indiano.

3.2 Dimensionamento conforme o consumo diário de biogás

Na seção anterior, foi dissertado o dimensionamento do biodigestor indiano com o propósito de produzir o biogás e o biofertilizante utilizando toda a matéria prima disponível na propriedade.

Porém, caso deseja-se dimensionar o biodigestor de modo que seja produzido apenas a quantidade de biogás necessária para o consumo de biogás diário dos equipamentos da propriedade, deve-se realizar a forma de dimensionamento que será abordada a seguir.

3.2.1 Determinação do volume de biogás e da quantidade de dejetos

A primeira etapa nesta forma de dimensionamento do biodigestor é estimar a quantidade de biogás necessária no local. Para isso, deve-se fazer uma relação de quais e quantos equipamentos serão alimentados com biogás e, também, a quantidade de horas que irão funcionar por dia.

A Tabela 9 apresenta o consumo médio de biogás para alguns tipos de equipamentos.

Tabela 9 - Consumo médio de biogás por cada equipamento.

Fontes de consumo	Consumo médio de biogás (m ³)
Fogões	0,42 m ³ de biogás / dia / pessoa
Acionamento de geladeira	1,92 m ³ de biogás / dia
Iluminação	0,08 m ³ de biogás / lampião / hora
Aquecimento de água para banho	0,20 m ³ de biogás / banho
Aquecimento de pintinhos	0,22 m ³ de biogás / campânula / hora
Acionamento de motores	0,45 m ³ de biogás / hp de potência / hora

Fonte: Adaptada de Lucas Júnior et al. (2009).

Considere uma fazenda com uma criação de suínos e com 4 moradores, na qual pretende-se utilizar o biogás para acionar um motor de 5 hp por 6 horas diárias, um fogão e um chuveiro. De acordo com os dados desta propriedade e os contidos na Tabela 9, consegue-se determinar o consumo médio de biogás diário de cada equipamento, sendo, então, 13,5 m³ de

biogás para acionar o motor, 1,68 m³ para o fogão e 0,8 m³ para alimentar o chuveiro, considerando que cada pessoa tome apenas um banho por dia.

Assim, o somatório do consumo diário de biogás de todos os equipamentos determina o volume diário de biogás necessário na propriedade, como é apresentado na Equação (20):

$$\text{volume de biogás}/\text{dia} = \sum_{i=1}^{n=\text{equipamentos}} (\text{consumo do equip.}/\text{dia})_i \text{ [m}^3\text{]} \quad (20)$$

Com este valor, é possível estimar o volume útil do biodigestor, entretanto, primeiro, determinar-se a quantidade de dejetos que serão necessários para produzir esta demanda diária de biogás. Na Tabela 8 foram apresentadas as quantidades médias de dejetos necessárias para produzir 1 m³ de biogás.

Assim, de posse do valor da demanda diária de biogás e da quantidade média de dejetos necessária para produzir 1 m³ de biogás, conforme o tipo de criação de animais existente na propriedade, a quantidade de dejetos é estimada pela Equação (21):

$$\text{quantidade de dejetos} = \frac{\text{volume de biogás}}{\text{dia}} \times \frac{\text{dejetos}}{1 \text{ m}^3 \text{ de biogás}} \text{ [kg]} \quad (21)$$

Considerando o exemplo anterior, a demanda diária de biogás na propriedade, segundo o consumo de cada equipamento, é equivalente a 15,98 m³. Como a propriedade dispõe de uma criação de suínos, conforme a Tabela 8, a quantidade de esterco suíno necessária para produzir 1 m³ de biogás é 11,3 kg. Assim, de acordo com a Equação (21), são necessários, aproximadamente, 181 kg de dejetos suínos para atender a demanda diária de biogás da fazenda.

Determinada a quantidade diária de dejetos, é possível estimar a quantidade de animais que a propriedade deverá dispor em sua criação. Como já apresentado, a Tabela 6 mostra a quantidade diária de dejetos que são eliminados por cada tipo de animal. Dessa forma, dividindo a quantidade total de dejetos pela quantidade diária de esterco eliminado por cada animal, estima-se o número de animais, como mostra a Equação (22):

$$\text{quantidade de animais} = \frac{\text{quantidade de dejetos}}{\text{dejetos diários/animal}} \quad (22)$$

Após calcular o volume diário de biogás e, em seguida, a quantidade de dejetos, os próximos cálculos são efetuados da mesma forma como foi realizado no dimensionamento descrito na Seção 3.1.

Estima-se a quantidade de água necessária para a diluição dos dejetos; a carga diária de alimentação do biodigestor; os valores úteis e brutos do volume e da altura do biodigestor e do gasômetro; os comprimentos dos tubos de carga, de descarga e do tubo-guia e as dimensões da parede divisória e das caixas de carga e de descarga, encerrando assim, o dimensionamento do biodigestor indiano.

3.3 Construção do biodigestor indiano

De posse de todos os dados do dimensionamento, a próxima etapa é a construção do biodigestor. A princípio, deve-se definir a localização mais adequada para efetuar a sua construção. Isso porque é importante observar as condições do solo, a facilidade de acesso, a distância entre as unidades de consumo e o local de produção do biogás e a distância do biodigestor até as instalações onde serão retirados os dejetos; buscando sempre construir este equipamento o mais próximo possível destes locais. Desse modo, é recomendado que a distância ideal entre o local de construção do biodigestor e qualquer outra edificação seja de 10 m (JUNQUEIRA, 2014).

3.3.1 Abertura do fosso

Após definir a localização do biodigestor, realiza-se a abertura do fosso no solo, cuja profundidade deve ser, aproximadamente, 0,20 m maior que a altura total da câmara de fermentação e com o diâmetro 1,20 m maior que o diâmetro interno do biodigestor, de modo a garantir uma margem de segurança (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

As Equações (23) e (24) apresentam, respectivamente, a altura do fosso (H_{fossa}) e o diâmetro do fosso (D_{fossa}):

$$H_{fosso} = Ht_B + 0,20 [m] \quad (23)$$

$$D_{fosso} = Di_B + 1,20 [m] \quad (24)$$

Logo depois da abertura, o fundo do fosso deverá ser nivelado, colocando-se terra e fazendo-se uma compactação (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

3.3.2 Construção da base e da coluna de concreto

Estando o fundo do fosso devidamente nivelado e compactado, poderá ser inicializada a construção da base circular de concreto, a qual deverá apresentar um diâmetro com 0,80 m a mais que o diâmetro interno da câmara de biodigestão e altura de, aproximadamente, 0,15 m (LUCAS JÚNIOR et al., 2009). O diâmetro da base circular (D_{base}) é, então, calculado pela Equação (25):

$$D_{base} = Di_B + 0,80 [m] \quad (25)$$

A marcação dessa base é realizada utilizando-se um gabarito de madeira, no qual são colocados dois pedaços de ferro, um em cada ponta, da mesma forma que um compasso. A distância entre os ferros deverá ser igual à metade do diâmetro da base, calculado pela Equação (25). Depois de construído o gabarito, fixa-se um dos pedaços de ferro no solo e gira a tábua de madeira, de modo que o ferro da outra ponta faça uma marcação com formato circular no solo, como mostra a Figura 14, sendo este o local exato para a construção da base de concreto (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

Figura 14 - Marcação da base circular com o gabarito de madeira.



Fonte: Extraída de Lucas Júnior et al. (2009).

Obtida a marcação, coloca-se do lado de fora e bem rente a ela, piquetes com altura igual a da base de concreto. Em seguida, estando os piquetes bem nivelados, é feita a fôrma da base, empilhando-se os tijolos em cima da marcação.

Depois disso, marca-se no solo um quadrado no meio da circunferência, onde deverá ser construída uma coluna de concreto, com a altura determinada pela Equação (17) e com, aproximadamente, 25 cm de lado, na qual será fixado o tubo-guia. É importante que dois dos seus lados fiquem no sentido transversal às caixas de carga e de descarga, para possibilitar, posteriormente, a construção correta da parede divisória. Feita a marcação, cava-se um buraco de profundidade igual a 40 cm, em média. Neste buraco, é colocada uma armação de ferro, feita com vergalhões e estribos, que auxiliará na construção da coluna de concreto. Após isso, realiza-se a concretagem da base e tampa-se o buraco do pilar com cimento, areia e brita, tendo o cuidado de manter a armação de ferro bem fixa e aprumada. Em seguida, a armação de ferro é envolvida por uma fôrma de madeira e, então, é preenchida com concreto. No momento em que faltar em torno de 40 cm para esta fôrma de madeira ser totalmente preenchida, o tubo-guia deve ser introduzido no pilar central, e o restante da fôrma é concretada (LUCAS JÚNIOR et al., 2009). Assim que a coluna de concreto estiver seca, retira-se a fôrma de madeira.

3.3.3 Construção das paredes da câmara de biodigestão

Com a implementação da base de concreto e da coluna com o tubo-guia, pode-se iniciar a construção da parede circular da câmara de fermentação. Para isso, será necessário construir

um gabarito como o que foi utilizado para realizar a marcação da base circular, sendo que, para este novo gabarito, a distância entre os ferros deverá ser igual à metade do diâmetro interno da câmara de biodigestão mais dois centímetros. Ou seja, será igual ao raio mais dois centímetros, isto para descontar a massa do acabamento interior. A distância entre os ferros posicionados em cada extremidade do gabarito de madeira, sendo denominada de ($R_{gabarito}$), é determinada pela Equação (26):

$$R_{gabarito} = \frac{Di_B}{2} + 0,02 \text{ [m]} \quad (26)$$

Depois de obter o gabarito, este será utilizado para fazer um desenho de uma circunferência no solo, fora do local onde será construído o biodigestor. Assim, feita a marcação, serão fixados alguns piquetes de madeira no chão, ao redor da circunferência, porém do lado de dentro, e, então, estes são contornados por um vergalhão de ferro, que terá um raio igual ao raio da câmara de biodigestão. A construção deste vergalhão é apresentada na Figura 15.

Figura 15 - Construção do vergalhão de ferro que auxiliará na construção da parede circular.



Fonte: Extraída de Lucas Júnior et al. (2009).

Feito isso, com o auxílio desse vergalhão, colocando-o sobre a base de concreto, marca-se com um giz a circunferência que servirá de orientação para construir a parede cilíndrica da câmara de biodigestão. O vergalhão deve ficar bem centralizado com relação à coluna de concreto, como mostra a Figura 16.

Figura 16 - Marcação da circunferência para a construção da parede cilíndrica.



Fonte: Extraída de Lucas Júnior et al. (2009).

A construção da parede da câmara de fermentação deverá ser feita com tijolos cerâmicos, fixados com concreto.

Ao mesmo tempo em que a parede cilíndrica é levantada, a parede divisória também deve ser construída, utilizando-se também tijolos cerâmicos, como apresenta a Figura 17.

Figura 17 - Construção das paredes da câmara de biodigestão.



Fonte: Extraída de Lucas Júnior et al. (2009).

A cada 70 cm de parede construída, recomenda-se que seja realizado o seu acabamento interno, para em seguida, fazer o aterro ao redor da mesma, de modo que, ao final, a câmara de biodigestão e o aterro do fosso estarão terminados juntos (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

Após construir 30 cm de parede, deve-se deixar dois buracos na parede circular, para encaixar em cada um deles os tubos de carga e de descarga. O diâmetro desses buracos deverá ter um valor igual ao diâmetro dos tubos. Como já mencionado na Seção 3.1.4, os tubos deverão ser colocados com uma inclinação de 30°. Para conseguir esta inclinação, utiliza-se um esquadro. Os tubos deverão ser feitos de PVC com, aproximadamente, 150 mm de diâmetro (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

Com a instalação dos tubos de carga e de descarga, as paredes continuam a ser construídas até a altura da coluna de concreto, como mostra a Figura 18.

Figura 18 - Parede da câmara de biodigestão e parede divisória construídas.



Fonte: Extraída de Lucas Júnior et al. (2009).

A partir desse ponto, a parede cilíndrica deverá ser construída com o diâmetro 20 cm maior que o diâmetro da câmara de biodigestão. Assim, quando essa parede alcançar o nível do solo, deverão ser construídos mais 20 cm acima da altura total do biodigestor, sendo essa altura externa uma taxa de segurança (LUCAS JÚNIOR et al., 2009). Após isso, a câmara de fermentação estará terminada.

3.3.4 Construção das caixas de carga e de descarga

Concluída a construção da câmara de biodigestão, inicia-se a construção das caixas de carga e de descarga. As caixas serão construídas de tijolos e argamassa de cimento e areia. Deverão ser implementadas conforme o seu dimensionamento. Além disso, elas devem ser posicionadas próximas à câmara de fermentação, possuindo um formato, geralmente, quadrado.

Para finalizar a parte de construção em alvenaria do biodigestor, é preciso fazer uma calçada de concreto em volta do mesmo, de modo a evitar a formação de lamas ao seu redor, por ocasião das chuvas, e, também, para facilitar o seu acesso e a sua operação (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

3.3.5 Construção do gasômetro

Enfim, terminada a parte de alvenaria do sistema, realiza-se a construção do gasômetro, sendo toda a sua estrutura feita com chapas de aço. Além disso, no centro do gasômetro, na parte interna, são colocadas cantoneiras soldadas a um tubo de ferro, que apresenta um diâmetro maior que o diâmetro do tubo-guia, para que posteriormente, esses tubos possam se encaixar com facilidade. Normalmente, o diâmetro do tubo-guia é em torno de 2,5 polegadas, logo, o diâmetro do tubo de ferro do gasômetro pode ser de 3,0 polegadas (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

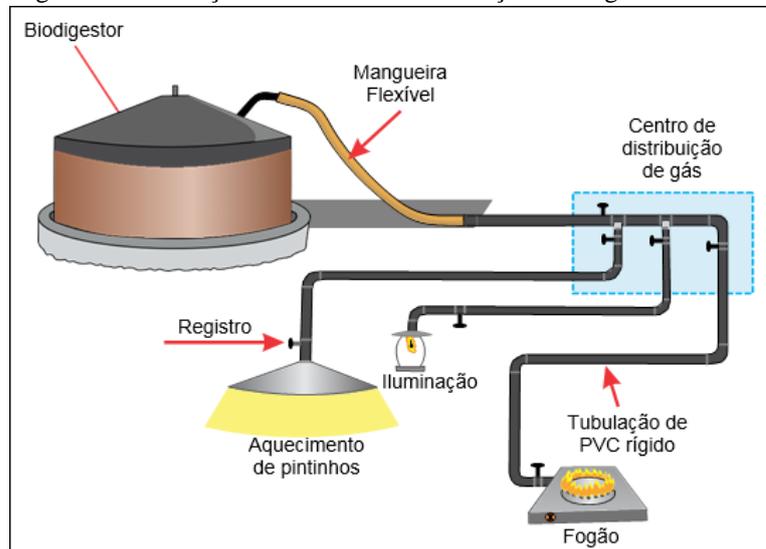
A cobertura do gasômetro deverá possuir um formato cônico, com uma inclinação igual a 30% do seu raio (LUCAS JÚNIOR et al., 2009). Dessa forma, a altura correspondente a esta inclinação ($H_{cobertura}$) é determinada pela Equação (27):

$$H_{cobertura} = \frac{30 \times D_G}{200} [m] \quad (27)$$

Na parte inclinada do gasômetro deverá ser soldado um tubo de ferro, no qual será conectada uma mangueira flexível, a fim de realizar a retirada do biogás do biodigestor e conduzi-lo até o ponto de distribuição, como apresenta a Figura 19. A partir deste local, a

distribuição do biogás para os pontos de consumo acontece por meio de tubos de PVC e registros, os quais são abertos conforme a necessidade de utilização do biogás.

Figura 19 - Ilustração do sistema de distribuição do biogás.



Fonte: Extraída de Lucas Júnior et al. (2009).

Desse modo, a construção do biodigestor estará finalizada. A Figura 20 apresenta um biodigestor indiano após a sua implantação.

Figura 20 - Biodigestor Indiano.



Fonte: Extraída de Lucas Júnior et al. (2009).

3.4 Operação do biodigestor indiano

Após apresentar o dimensionamento e a construção do biodigestor do tipo indiano, nesta seção é tratado sua operação.

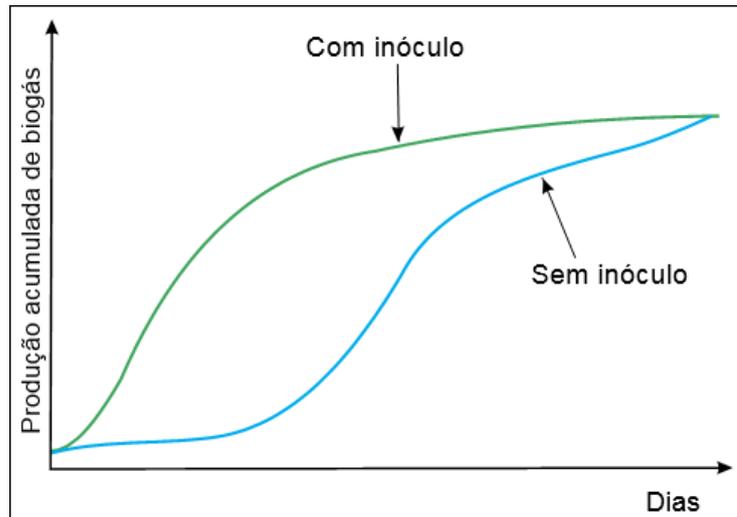
Concluída a construção do biodigestor, o mesmo poderá ser totalmente abastecido com os dejetos diluídos em água, e deverá permanecer nestas condições por um determinado período, chamado tempo de partida. Ao serem colocados na câmara de fermentação, os dejetos diluídos sofrem a ação das bactérias anaeróbicas, porém, na primeira utilização do biodigestor, essas bactérias ainda não estão desenvolvidas. Dessa forma, ao carregar o biodigestor pela primeira vez, deve-se esperar um tempo para que a produção de biogás se estabilize e, somente após este período, o biodigestor de fluxo contínuo deverá começar a ser abastecido com as cargas diárias. Este tempo de partida depende do tipo de dejetos que é utilizado, sendo, normalmente, 90 dias para dejetos suínos e 60 dias para dejetos bovinos (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

É importante que o tempo de partida seja bem monitorado, pois, a produção de biogás adequada dependerá dele. Esta monitoração pode ser realizada com o uso de uma régua, que servirá para medir diariamente o deslocamento vertical do gasômetro. Com o passar dos dias, ao identificar que a produção de biogás se estabilizou, ou seja, quando as leituras do deslocamento forem praticamente as mesmas, significa que o biodigestor completou o tempo de partida (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

Com o objetivo de diminuir esse tempo, recomenda-se que se adicione o inóculo à carga inicial. O inóculo é um material em avançado processo de fermentação, retirado de outro biodigestor já em funcionamento. Assim, esse material conterá colônias de bactérias anaeróbicas já desenvolvidas, de modo que ao ser inserido em um biodigestor que esteja alimentado com a primeira carga, irá acelerar o processo de produção de biogás deste, podendo reduzir até 30 dias do tempo de partida (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

A Figura 21 mostra o perfil genérico da produção de biogás em um biodigestor funcionando com e sem a presença do inóculo.

Figura 21 - Perfil da produção de biogás em um biodigestor funcionando com e sem o inóculo.



Fonte: Extraída de Lucas Júnior et al. (2009).

Com relação a manutenção do biodigestor indiano, recomenda-se que esta seja feita a cada três anos, a qual consiste em retirar a areia que estará depositada no fundo da câmara de biodigestão e, em seguida, fazer uma limpeza interna de todo o sistema (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

Uma vez percorrido sobre o dimensionamento, a construção e a operação do biodigestor modelo indiano, no próximo capítulo é apresentada a metodologia adotada neste trabalho para desenvolver o *software* proposto.

4 METODOLOGIA

No Capítulo 3, foram descritas as etapas para realizar o dimensionamento de um biodigestor indiano, como também, a sua construção e operação. Observou-se que este dimensionamento técnico consiste em diversos cálculos e considerações, os quais fornecem as dimensões da estrutura do sistema de biodigestão.

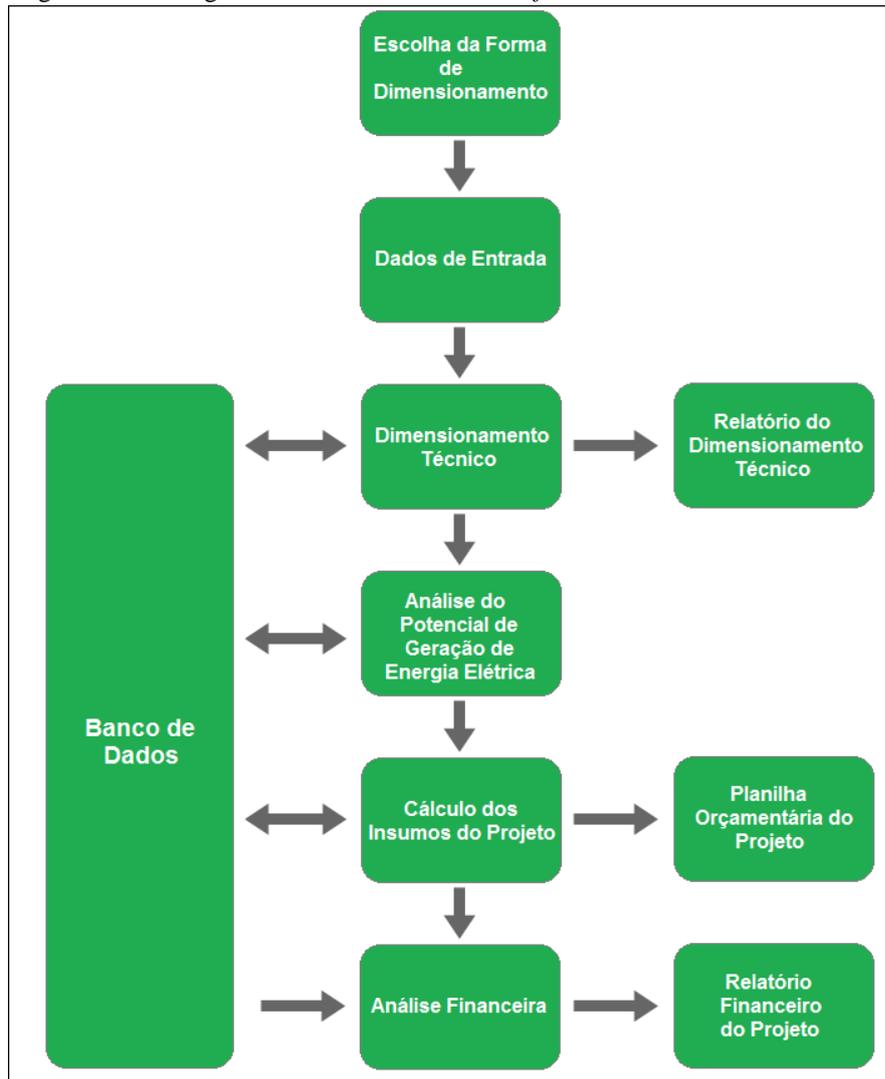
Diante disso, neste capítulo são apresentadas as estratégias adotadas para desenvolver o programa computacional que atuará como uma ferramenta de auxílio no projeto de dimensionamento do biodigestor indiano, de modo a minimizar os erros nos cálculos, diminuir o tempo gasto no projeto e, também, para analisar a viabilidade econômica da sua implantação, como foi proposto na Seção 2.4.

Neste capítulo, a Seção 4.1 apresenta o funcionamento do *software* por meio de um fluxograma; a Seção 4.2 aborda os públicos alvos contemplados pelo *software* e os dados de entrada técnicos e econômicos necessários para realizar as duas formas de dimensionamento; a Seção 4.3 trata da análise econômica da implantação do sistema de biodigestão e dos índices financeiros a serem analisados; na Seção 4.4 é apresentado o banco de dados desenvolvido para otimizar o *software*. Por fim, a Seção 4.5 apresenta os dados de saída fornecidos pelo programa, sendo o dimensionamento técnico, a planilha orçamentária, o potencial energético e a análise econômica do projeto.

4.1 Estrutura do *software*

A fim de compreender melhor as estratégias e etapas adotadas para desenvolver o programa, a Figura 22 apresenta o fluxograma de funcionamento do *software*.

Figura 22 - Fluxograma do funcionamento do *software*.



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Primeiro, define-se a forma de dimensionamento do sistema de biodigestão, sendo para a produção de biogás conforme a disponibilidade de dejetos na propriedade, ou de acordo com o consumo de biogás dos equipamentos. Em seguida, com os dados de entrada e as variáveis presentes no banco de dados, é realizado o dimensionamento técnico do biodigestor indiano. Nesta etapa, o programa apresenta como saída o relatório do dimensionamento técnico, o qual contém as dimensões estruturais do sistema e algumas informações adicionais.

Após o dimensionamento técnico, o *software* realiza a análise do potencial de geração de energia elétrica, sendo calculada a quantidade de energia produzida e, também, a potência do conjunto motor gerador, conforme o método de dimensionamento selecionado e caso seja solicitado. Com o valor da potência, o programa acessa o banco de dados, verifica o valor de potência comercial mais próximo ao valor calculado, e determina o conjunto motor gerador adequado para o sistema.

Na etapa seguinte, o programa executa o cálculo dos insumos necessários para a implantação do projeto, considerando os índices de construção contidos no banco de dados. Assim, como saída, o programa apresenta a planilha orçamentária do projeto, com as quantidades e os preços dos materiais, dos equipamentos e da mão de obra utilizados na construção do biodigestor, além do conjunto motor gerador.

Por fim, realiza-se a análise financeira, sendo gerado na saída do *software* o relatório financeiro do projeto. Neste estão contidas três análises financeiras realizadas de acordo com o valor do poder calorífico do biogás. Em cada análise, apresenta-se o valor total do investimento, os retornos e os custos do projeto, a geração de energia e, além disso, os índices econômicos para avaliar a viabilidade do investimento.

Nas próximas seções são apresentadas, detalhadamente, as etapas presentes no fluxograma.

4.2 Dados de entrada

Como foi tratado no Capítulo 3, o presente trabalho aborda duas formas de dimensionamento do biodigestor modelo indiano: a primeira conforme a disponibilidade de dejetos e a segunda de acordo com o consumo de biogás.

Os dados de entrada do programa que são necessários para realizar cada forma de dimensionamento serão tratados a seguir.

4.2.1 Dados de entrada para a primeira forma de dimensionamento

Com a primeira forma de dimensionamento, o *software* pretende atender a três públicos distintos. O primeiro são os proprietários que desejam dimensionar o biodigestor para utilizar o biogás produzido como uma fonte de energia térmica ou mecânica. Já o segundo público alvo são aqueles que desejam implantar o biodigestor indiano com o intuito de gerar energia elétrica a partir da conversão do biogás. Assim eles solicitam, além do biodigestor, o dimensionamento do conjunto motor gerador.

O último público contemplado são aqueles que também se interessam em implantar o biodigestor para produzir energia elétrica, porém, já possuem o conjunto motor gerador em sua propriedade. Dessa forma, estes solicitam apenas o dimensionamento da estrutura do biodigestor.

Considerando os públicos alvos supracitados e os cálculos descritos na Seção 3.1, os dados de entrada que devem ser fornecidos para efetuar a primeira forma de dimensionamento são os apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Variáveis de entrada técnicas para o dimensionamento conforme a disponibilidade de dejetos.

Variável	Descrição
Tempo de retenção	Tempo de permanência da matéria orgânica no interior da câmara de fermentação em dias
Diâmetro interno do biodigestor	Diâmetro interno da parte inferior da câmara de fermentação em metros
Tipo de criação	Tipos de criações de animais das quais provém as fontes de dejetos
Quantidade	Número de animais presentes nas criações

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

As variáveis presentes no Quadro 1 são chamadas de dados de entrada técnicos. Com a manipulação desses dados, são gerados os resultados técnicos referentes às dimensões estruturais do biodigestor, ao potencial energético do sistema de biodigestão e aos materiais necessários para a sua construção.

Além das informações técnicas, devem ser fornecidos os dados de entrada econômicos. Por meio desses dados é que são diferenciados os públicos alvos contemplados pelo programa.

O Quadro 2 mostra as variáveis de entrada de interesse econômico para esta forma de dimensionamento.

Quadro 2 - Variáveis de entrada econômicas para o dimensionamento conforme a disponibilidade de dejetos.

Variável	Descrição
Consumo médio de energia	Consumo médio mensal de energia elétrica na propriedade em kWh/mês, determinado pela média dos consumos mensais fornecidos na fatura de energia
Valor da tarifa energética	Valor da tarifa de energia em R\$/kWh para propriedades rurais
Taxa média da inflação	Taxa média da inflação
Taxa SELIC	Taxa básica de juros da economia (SELIC – Sistema Especial de Liquidação e Custódia)
Conjunto Motor Gerador	Questionamento ao usuário se deseja dimensionar o conjunto motor gerador

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

4.2.2 Dados de entrada para a segunda forma de dimensionamento

A segunda forma de dimensionamento é destinada apenas ao público que deseja realizar a instalação do biodigestor indiano para suprir o consumo de biogás dos equipamentos da propriedade. Assim, de acordo com o procedimento da Seção 3.2, as variáveis de entrada técnicas necessárias para efetuar esta forma de dimensionamento são as apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Variáveis de entrada técnicas para o dimensionamento conforme o consumo de biogás.

Variável	Descrição
Tempo de retenção	Tempo de permanência da matéria orgânica no interior da câmara de fermentação em dias
Quantidade de pessoas na propriedade	Número de pessoas presentes na propriedade
Diâmetro interno do biodigestor	Diâmetro interno da parte inferior da câmara de fermentação em metros
Tipo de criação de animais	Tipo de criação de animais da qual provém a fonte de dejetos
Equipamentos	Modelos de equipamentos presentes na propriedade que utilizam o biogás como combustível
Quantidade	Número de equipamentos presentes na propriedade que utilizam o biogás como combustível
Horas	Tempo diário de utilização dos equipamentos
Potência	Potência do equipamento em hp

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

O Quadro 4 apresenta os dados de entrada econômicos que precisam ser entregues ao programa nesta forma de dimensionamento.

Quadro 4 - Variáveis de entrada econômicas para o dimensionamento conforme o consumo de biogás.

Variável	Descrição
Valor da tarifa energética	Valor da tarifa de energia em R\$/kWh para propriedades rurais
Taxa média da inflação	Taxa média da inflação
Taxa SELIC	Taxa básica de juros da economia (SELIC – Sistema Especial de Liquidação e Custódia)

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Observa-se no Quadro 4 a presença da variável de entrada econômica “Valor da tarifa energética”. Apesar do dimensionamento ser realizado com o objetivo de produzir o biogás para o seu consumo direto, esta variável será utilizada para fazer uma estimativa da economia gerada com a utilização do biogás, sendo comparada a quantidade de biogás produzido com o seu equivalente em energia elétrica.

Os dados econômicos fornecidos ao *software* nas duas formas de dimensionamento, indicados nos Quadros 2 e 4, não influenciam no dimensionamento da estrutura do biodigestor, mas são importantes para a realização da análise de viabilidade econômica do projeto.

4.3 Estudo de viabilidade econômica

Em toda decisão financeira é necessário realizar um estudo de viabilidade econômica, para analisar a aplicabilidade do projeto e ter uma projeção do seu comportamento frente ao mercado. Esse conceito, quando aplicado para análise do investimento na implantação do sistema de biodigestão, deve levar em consideração diversos fatores. Dentre esses, tem-se o potencial de aproveitamento energético do biogás, que está diretamente relacionado com o seu poder calorífico. Como já mencionado, o poder calorífico do biogás pode variar entre 4,95 kWh/m³ a 7,92 kWh/m³, isto conforme a concentração do gás metano em sua composição. Assim, de acordo com o poder calorífico, determina-se o potencial energético e, conseqüentemente, estima-se o retorno financeiro com a conversão do biogás em energia elétrica (PRATI, 2010). Além disso, tem-se, também, a economia gerada pela comercialização ou utilização própria do biofertilizante produzido.

Outro fator a ser considerado é a vida útil dos equipamentos. Segundo Jorge (2006), a vida útil do biodigestor em alvenaria é em média 20 anos, enquanto que, para o gasômetro é em média 7 anos, isso por ser de aço e estar em constante contato com água e uma mistura de vários componentes. Para o conjunto motor gerador a biogás, a média da sua vida útil é de 10 anos (CERVI et al., 2010). Dessa forma, com base nos tempos de vida útil dos equipamentos determina-se o período de análise do investimento.

Além do custo evitado com a geração de energia elétrica e a produção de biofertilizante, os gastos com manutenções periódicas nos equipamentos também são relevantes, sendo considerado o equivalente a 5% do custo total do investimento do projeto como o valor anual gasto com manutenção (ALVES, M., 2017).

De modo que todos esses custos e retornos financeiros sejam analisados à longo prazo, os aumentos da tarifa energética e a taxa de juros do mercado também precisam ser ponderados.

Neste trabalho, para analisar a viabilidade econômica da implantação do biodigestor, os indicadores econômicos utilizados são: o *Payback*, o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), os quais são definidos a seguir.

4.3.1 *Payback*

Uma figura de mérito para a análise da viabilidade financeira de um projeto é o tempo de retorno sobre o investimento, ou *payback*, o qual consiste no número de períodos necessários para que o fluxo de caixa acumulado se torne positivo, isto considerando que o fluxo de caixa do projeto é do tipo em que o investimento é realizado no primeiro período e as receitas estão nos períodos seguintes. É um dos indicadores econômicos que apresenta a estimativa da atratividade do investimento, mas possui algumas limitações pois, não considera os reajustes monetários e os riscos envolvidos. Além disso, o tempo de *payback* não segue um padrão pré-estabelecido, ele depende do valor do investimento inicial e do tipo de negócio (GONÇALVES, 2018).

4.3.2 Valor Presente Líquido (VPL)

Outro importante indicador econômico é o VPL, que é determinado pela diferença entre os benefícios gerados pelo projeto e seus custos. No cálculo desta figura de mérito, os valores dos fluxos de caixa são trazidos a valor presente, descontados a uma determinada taxa de juros, e somados ao valor do investimento inicial. Esse desconto realizado nos fluxos de caixa é necessário para considerar o valor do dinheiro no tempo. Isso torna o VPL o método de análise de investimentos mais recomendado sob o ponto de vista econômico (PRATES, 2016a).

A Equação (28) demonstra o cálculo do VPL:

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (28)$$

Em que:

FC_t : Fluxo de caixa do projeto no período t ;

r : Taxa de desconto;

t : Período em questão;

n : Horizonte de análise do fluxo de caixa;

I_0 : Investimento inicial.

De acordo com o valor do VPL consegue-se avaliar a viabilidade do investimento, sendo considerado atrativo quando positivo.

4.3.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A terceira figura de mérito abordada na análise financeira é a TIR, que representa um percentual de rentabilidade do projeto. Matematicamente, a TIR é a taxa que, ao ser empregada como a taxa de desconto no cálculo do VPL, faz com que esse valor seja igual a zero. Para interpretar o resultado da TIR é preciso fazer uma comparação com a Taxa Mínima de

Atratividade (TMA), que representa o mínimo de retorno que o projeto deve gerar para ser considerado viável (PRATES, 2016b).

A Equação (29) apresenta o cálculo da TIR:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} - I_0 \quad (29)$$

Assim, quando o valor da TIR for maior que a TMA considerada na análise, a implantação do projeto torna-se atrativa em termos de rentabilidade econômica.

4.4 Banco de dados

Para otimizar o *software* foi integrado um banco de dados, no qual estão presentes as informações referentes às quantidades diárias de dejetos eliminados por cada animal, às relações de diluição dos esterco, às quantidades de dejetos necessárias para produzir 1 m³ de biogás e às relações do consumo médio de biogás dos equipamentos.

Esta integração é necessária pois, os valores do banco de dados auxiliam no dimensionamento do biodigestor, juntamente com as variáveis de entrada do programa. As informações que o constituem são os valores contidos nas Tabelas 6, 7, 8, e 9, apresentadas anteriormente.

Esses dados estão relacionados com o tipo de criação e os modelos de equipamentos empregados na propriedade. No *software*, os tipos de animais contemplados são: vaca leiteira, boi de corte, suíno de 25 kg a 100 kg, cachaço, porca em gestação, leitão na creche e caprino. Além disso, o programa abrange como fontes de consumo equipamentos como motor, lâmpião, campânula, geladeira, fogão e chuveiro.

No banco de dados também estão presentes os índices de construção para o orçamento de obra e alguns valores comerciais de potência de modelos de conjuntos motores geradores, que são discutidos posteriormente.

4.5 Dados de saída

Para as duas formas de dimensionamento do biodigestor, o *software* apresenta os seguintes dados de saída:

- Dimensionamento técnico do biodigestor;
- Potencial de geração de energia elétrica ou o equivalente em relação à produção de biogás;
- Relação dos insumos utilizados para a implantação do sistema de biodigestão;
- Análise financeira do projeto.

A seguir, apresenta-se detalhadamente as informações de saída do programa.

4.5.1 Dimensionamento técnico do biodigestor

No dimensionamento técnico do biodigestor indiano, as variáveis consideradas figuras de mérito são: a quantidade total de dejetos para o abastecimento diário do biodigestor e o volume diário de biogás que é produzido. Os cálculos realizados para determinar estas duas variáveis são o que diferencia os dois métodos de dimensionamento do biodigestor.

Na primeira forma de dimensionamento, com a variável de entrada “Tipo de criação”, o *software* realiza uma pesquisa no banco de dados e seleciona a quantidade de dejetos diários que são eliminados de acordo com o tipo de criação. Determinada esta variável, o programa utiliza, juntamente com o dado de entrada “Quantidade”, para realizar o cálculo descrito na Equação (1), definindo, assim, a quantidade total de dejetos que são eliminados por dia.

Para estimar a segunda figura de mérito, de acordo com a variável de entrada “Tipo de criação”, o *software* seleciona no banco de dados a quantidade de dejetos necessários para produzir 1 m³ de biogás. Assim, definida esta variável, o programa realiza o cálculo da Equação (9), empregando-a junto com as quantidades de dejetos diários eliminados por cada animal e com a variável de entrada “Quantidade”.

No segundo método de dimensionamento do biodigestor, o primeiro dado a ser determinado é o volume diário de biogás. Para isso, o *software* recebe as variáveis de entrada referentes às fontes de consumo do biogás que são “Equipamentos”, “Quantidade”, “Horas” e

“Potência”, e também, a variável “Quantidade de pessoas na propriedade”. Com o dado de entrada “Equipamentos”, o *software* analisa o banco de dados e seleciona a relação do consumo médio de biogás de cada equipamento. Desse modo, com esta informação e com os dados de entrada “Quantidade”, “Hora”, “Potência” e “Quantidade de pessoas na propriedade”, o programa estima o volume diário de biogás por meio do cálculo apresentado na Equação (20).

Em seguida, para determinar a outra figura de mérito, é utilizada a variável de entrada “Tipo de criação de animais”, de modo a definir, por meio do banco de dados, a quantidade de dejetos necessários para produzir o equivalente a 1m³ de biogás. Logo, com este valor e com a quantidade de volume de biogás, o programa realiza o cálculo da Equação (21), que determina a quantidade total de dejetos diários.

De posse dos valores das figuras de mérito, o *software* implementa os cálculos apresentados nas Seções 3.1 e 3.2, para determinar todas as dimensões da estrutura do biodigestor e algumas informações adicionais, como a quantidade de água para o processo de diluição, a carga diária, a quantidade de biofertilizante e a quantidade de animais, no caso da segunda forma de dimensionamento.

O Quadro 5 apresenta os dados de saída do dimensionamento técnico do biodigestor e as suas descrições.

Quadro 5 - Dados de saída do dimensionamento técnico do biodigestor.

Câmara de Fermentação	
Volume Útil	Volume útil da câmara de fermentação
Volume Bruto	Volume bruto da câmara de fermentação
Altura Útil (Hu_B)	Altura útil da câmara de fermentação
Altura Total (Ht_B)	Altura total da câmara de fermentação
Diâmetro (Di_B)	Diâmetro interno da câmara de fermentação
Altura da Parede Divisória	Altura da parede divisória da câmara de fermentação
Relação (Di_B/Hu_B)	Relação entre o diâmetro interno e a altura útil
Gasômetro	
Volume	Volume do gasômetro
Altura Útil	Altura útil do gasômetro
Altura Total (Ht_G)	Altura total do gasômetro
Diâmetro (D_G)	Diâmetro do gasômetro
Comprimentos dos Tubos	
Tubo de Carga	Comprimento do tubo de carga
Tubo de Descarga	Comprimento do tubo de descarga
Tubo-Guia	Comprimento do tubo-guia
Caixas de Carga e de Descarga	
Volume	Volume das caixas de carga e de descarga
Altura interna	Altura interna das caixas de carga e de descarga
Medidas dos lados	Medidas dos lados das caixas
Informações Adicionais	
Volume de Biogás	Volume de biogás produzido diariamente
Dejetos	Quantidade total de dejetos diários
Água	Quantidade de água diária para a diluição
Carga Diária	Carga diária para preencher o biodigestor
Biofertilizante	Quantidade diária de biofertilizante produzido
Animais	Quantidade de animais necessária para gerar a quantidade de dejetos para suprir o consumo de biogás

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Esses dados são apresentados em uma tela específica do programa denominada de “Relatório do Dimensionamento Técnico do Biodigestor Indiano”, na qual ainda apresenta a possibilidade de serem mostrados em uma planilha no formato de arquivo.xlsx através de um botão de comando.

4.5.2 Potencial de geração de energia elétrica

De acordo com o público alvo tratado na Seção 4.2, neste trabalho a implantação do biodigestor tem por intuito a produção de biogás para ser utilizado diretamente nos equipamentos como combustível ou para realizar a sua conversão em energia elétrica. Neste caso, deve ser integrado ao sistema de biodigestão um conjunto motor gerador, o qual é responsável pela conversão do biogás, como foi discutido na Seção 2.1.3.1.

Para dimensionar o conjunto motor gerador é preciso determinar o potencial de geração de energia elétrica do sistema de biodigestão, sendo este obtido pela Equação (30) (SOUZA, 2016):

$$Potencial\ G.E. = \frac{PC \times volume\ de\ biogás/dia \times \eta}{100} [kWh/dia] \quad (30)$$

Na qual:

PC: Poder calorífico do biogás em kWh/m³;

volume de biogás/dia: Volume de biogás produzido diariamente em m³/dia;

η: Eficiência global do conjunto motor gerador em %.

O volume de biogás diário é determinado no dimensionamento técnico do biodigestor apresentado na Seção 4.5.1. Para a eficiência global do conjunto motor gerador é adotado o valor de 25%, conforme Zilotti (2012) e Souza (2016). Como o poder calorífico do biogás varia entre 4,95 kWh/m³ e 7,92 kWh/m³, para a determinação do conjunto motor gerador é considerado o valor médio do poder calorífico de 6,5 kWh/m³, conforme Figueiredo (2017).

De posse do valor do potencial de geração de energia elétrica, consegue-se determinar a potência elétrica do conjunto motor gerador por meio da Equação (31) (SOUZA, 2016):

$$Potência\ do\ conjuntor\ motor\ gerador = \frac{Potencial\ G.E.}{HO \times \cos\varphi} [kVA] \quad (31)$$

Onde:

HO: Número de horas diárias do conjunto motor gerador;

cosφ: Fator de potência do conjunto motor gerador.

De acordo com Souza (2016), para conjuntos motores geradores a biogás, o fator de potência considerado é de 0,8.

Inicialmente, a proposta era integrar ao banco de dados do *software* alguns modelos de conjuntos motores geradores a biogás, especificando o valor da potência e seu respectivo preço comercial. Assim, ao determinar a potência do conjunto motor gerador, seria estimado o valor de potência comercial mais próximo e, então, definido o modelo do conjunto pelo banco de dados.

Porém, ao entrar em contato com três fabricantes nacionais de conjuntos motores geradores a biogás, ER-BR - Energias Renováveis Ltda (ER-BR, 2018), Biogás Motores Estacionários (BIOGÁS MOTORES ESTACIONÁRIOS, 2018) e Leão Energia, obteve-se o retorno apenas da última empresa. Por meio de um representante da Leão Energia foi informado que os preços dos seus modelos de conjuntos motores geradores são fornecidos somente por meio de orçamento, sendo necessárias diversas informações sobre a geração de biogás e, de acordo com a demanda de trabalho da empresa, os resultados poderiam levar algum tempo para serem entregues. Entretanto, o representante informou que em média o preço do conjunto motor gerador de menor potência fabricado pela empresa, de 80 kVA, é de R\$ 118.000,00, sendo em torno de R\$ 1.500,00 por kVA (LEÃO ENERGIA, 2018).

Devido à isso, como os valores das potências comerciais são disponibilizadas nas páginas das empresas, o *software* consegue estimar o valor da potência comercial porém, para o custo do conjunto motor gerador será considerado o valor fixo de R\$1.500,00 por kVA, conforme o valor fornecido pelo representante. O ANEXO B apresenta os modelos dos conjuntos motores geradores que serão abordados neste trabalho, assim como os seus respectivos valores de potência e fabricantes.

Dessa forma, o valor da potência e o preço do conjunto motor gerador estimados pelo programa são apresentados junto com os insumos da construção do biodigestor.

4.5.3 Insumos do projeto

Após o dimensionamento técnico do biodigestor é possível determinar os insumos necessários para a implantação do sistema de biodigestão. Para isso, utiliza-se a TCPO (Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos) e o SINAPI (Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil).

A TCPO é a principal referência de engenharia de custos no Brasil desenvolvida pela editora PINI. Apresenta composições de serviços, preços de referência e outras informações pertinentes ao orçamento de obra. Em cada composição de serviço é apresentada a composição detalhada incluindo a produção de insumos, ou seja, os materiais, os equipamentos e a mão de obra necessária. Além disso, mostra o critério de medição do serviço e as normas técnicas empregadas (TCPO, 2008).

O SINAPI é uma tabela que informa os custos e os índices da construção civil no Brasil, sendo a sua gestão compartilhada pela Caixa Econômica Federal e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A Caixa é responsável pela base técnica de engenharia e pelo processamento de dados, e o IBGE, pela pesquisa mensal de preço, tratamento dos dados e formação dos índices. Os preços de insumos e custos de composições do SINAPI são divulgados para 27 localidades do país. Os arquivos são disponibilizados gratuitamente na página da Caixa, os quais contém pastas compactadas com os relatórios de insumos e de composições, com encargos sociais desonerados ou não desonerados (CAIXA, 2018).

Para a construção do biodigestor são precisos serviços como escavação, apiloamento, reaterro, alvenaria, concreto estrutural, concreto armado, chapisco, reboco, entre outros. O orçamento da obra inicia-se pela determinação das quantidades de insumos presentes nas composições dos serviços da TCPO, com o uso dos dados do dimensionamento técnico. Em seguida, pelo SINAPI, são definidos os seus respectivos preços.

As composições de serviços da TCPO que são consideradas neste trabalho estão presentes no ANEXO C e os índices do SINAPI, para a determinação dos preços dos insumos, estão contidos no ANEXO D.

No *software*, todos estes índices referentes às quantidades dos insumos e os seus preços estão armazenados no banco de dados de modo que, com os valores do dimensionamento técnico, sejam estimadas as quantidades e os preços para cada projeto.

Em uma tela do programa denominada de “Planilha Orçamentária do Projeto” é apresentado o orçamento da implantação do sistema de biodigestão, na qual são descritos todos os insumos, suas quantidades e seus preços. Como ocorre no dimensionamento técnico, a planilha orçamentária também pode ser gerada em um arquivo.xlsx ao acionar um botão de comando.

4.5.4 Análise financeira

Nesta etapa, todo o sistema já encontra-se dimensionado, desde os insumos gastos na construção do biodigestor, até o conjunto motor gerador, caso seja solicitado. Assim, o *software* realiza a análise de viabilidade econômica do sistema projetado.

Como foi discutido na Seção 4.3, alguns fatores devem ser considerados na análise financeira do sistema de biodigestão. Um deles é o poder calorífico do biogás, cujo valor pode sofrer variações conforme as condições ambientais do sistema de biodigestão, interferindo, assim, no potencial de geração de energia elétrica e, conseqüentemente, no retorno financeiro. Dessa forma, são realizadas três análises econômicas do projeto, uma para o valor do poder calorífico igual a 4,95 kWh/m³, outra considerando-o equivalente a 6,5 kWh/m³ e a última análise para o valor de 7,92 kWh/m³.

O processo de biodigestão, além de produzir o biogás, apresenta como subproduto o biofertilizante, que também gera retorno financeiro com a sua comercialização ou utilização própria. Entretanto, neste trabalho não será considerada a receita obtida com o biofertilizante, apenas a economia gerada com a utilização do biogás.

Para estimar este retorno financeiro, primeiro, deve-se determinar a quantidade de energia elétrica produzida em um ano. O potencial de geração de energia elétrica calculado pela Equação (30) é determinado em kWh/dia, assim, multiplicando-o pela quantidade de dias em um mês e pela quantidade de meses no ano, determina-se a energia produzida em kWh/ano, como mostra a Equação (32):

$$\text{Energia produzida} = \text{Potencial G.E.} \times 30 \text{ dias} \times 12 \text{ meses [kWh/ano]} \quad (32)$$

Assim, multiplicando o valor da energia produzida determinada na Equação (32) pelas variáveis de entrada econômicas “Valor da tarifa energética” e “Taxa média da Inflação”, determina-se o retorno financeiro obtido pela geração de energia elétrica.

Para o caso em que o proprietário deseja dimensionar o biodigestor com o intuito de produzir o biogás para o seu consumo direto, o cálculo do retorno financeiro é o mesmo pois, será considerada a economia gerada ao proprietário por utilizar o biogás como combustível para o funcionamento de equipamentos que antes funcionavam com o uso de energia elétrica.

Além do retorno financeiro, o custo anual gasto com as manutenções periódicas também é determinado, sendo esse valor cerca de 5% do valor total da implantação. Para o cálculo deste custo, também é aplicada a “Taxa média da Inflação”.

Outro gasto que é considerado são os custos adicionais com insumos não contabilizados no orçamento do projeto, que são equivalentes a 10% do valor total gasto com os insumos. Estes custos serão adicionados apenas ao valor total do investimento.

Determinado o valor total do investimento, o valor do retorno financeiro, o valor do custo de manutenção e as variáveis de entrada econômicas, “Valor da tarifa Energética”, “Taxa média da Inflação” e “Taxa SELIC”, o *software* monta as três planilhas de análise econômica do sistema, nas quais apresenta-se a quantidade de energia anual gerada, o custo anual, a remuneração pela energia produzida e, por fim, o fluxo de caixa, que é o fluxo de caixa acumulado ao longo do período de análise.

De acordo com a vida útil dos equipamentos que constituem o sistema de biodigestão, tratados na Seção 4.3, serão considerados 10 anos como o período de análise do investimento. Isso porque, o conjunto motor gerador apresenta o maior custo de investimento entre todos os equipamentos do sistema de biodigestão e, também, devido ao gasômetro que possui a menor vida útil, em média 7 anos.

A partir das planilhas geradas pelo programa, é possível determinar os valores dos índices econômicos, o *payback*, o VPL e a TIR, de acordo com as suas definições descritas na Seção 4.3.

Para analisar o valor da TIR são calculados outros dois índices econômicos, TMA Conservador, equivalente ao valor da variável de entrada “Taxa SELIC”, e TMA Pessimista, que corresponde ao dobro da “Taxa SELIC”.

Além disso, para o primeiro método de dimensionamento do biodigestor indiano, no qual é considerada a quantidade de dejetos disponíveis na propriedade, é apresentada a relação entre a quantidade de energia que é produzida e o consumo de energia da propriedade, variável de entrada “Consumo médio de energia”, caso o intuito do dimensionamento seja a geração de energia elétrica.

Entretanto, para os públicos abordados em ambas as formas de dimensionamento que desejam dimensionar o biodigestor com a finalidade de gerar o biogás para o consumo direto nos equipamentos, apresenta-se uma comparação da quantidade de biogás gerado com o equivalente em energia elétrica.

O Quadro 6 mostra os dados de saída referentes às análises econômicas para a primeira forma de dimensionamento.

Quadro 6 - Dados de saída da análise econômica para cada um dos três valores do poder calorífico na primeira forma de dimensionamento.

Variável	Descrição
Valor Total do Projeto	Valor total do investimento
Geração de Energia Elétrica ou Geração de biogás equivalente a	Quantidade de energia elétrica gerada por ano ou a comparação entre o biogás produzido com o seu equivalente em energia elétrica, conforme a finalidade da implantação do biodigestor
Relação entre a energia produzida e o consumo	Relação de amortização da demanda energética da propriedade, caso o intuito do dimensionamento seja a geração de energia elétrica
<i>Payback</i>	Período estimado para o retorno do investimento inicial
Valor Presente Líquido (VPL)	Valor Presente Líquido do projeto
Taxa Interna de Retorno (TIR)	O retorno anual do projeto em %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Conservadora)	Taxa mínima de retorno do investimento para um cenário conservador
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Pessimista)	Taxa mínima de retorno do investimento para um cenário pessimista

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Para a segunda forma de dimensionamento, os dados de saída das análises econômicas são apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 - Dados de saída da análise econômica para cada um dos três valores do poder calorífico na segunda forma de dimensionamento.

Variável	Descrição
Valor Total do Projeto	Valor total do investimento
Geração de biogás equivalente a	Comparação entre a quantidade de biogás produzido com o equivalente em energia elétrica
<i>Payback</i>	Período estimado para o retorno do investimento inicial
Valor Presente Líquido (VPL)	Valor Presente Líquido do projeto
Taxa Interna de Retorno (TIR)	O retorno anual do projeto em %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Conservadora)	Taxa mínima de retorno do investimento para um cenário conservador
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Pessimista)	Taxa mínima de retorno do investimento para um cenário pessimista

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Esses dados são apresentados pelo programa na tela denominada “Relatório Financeiro do Projeto”. As planilhas com a quantidade de energia gerada, o custo anual, a remuneração e

o fluxo de caixa, não são exibidas nesta tela, entretanto, são apresentadas em um arquivo.xlsx ao acionar um botão de comando.

Conforme a metodologia abordada neste trabalho, desenvolveu-se o *software* proposto, sendo este discutido no capítulo a seguir.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo é apresentado o *software* em sua versão final. São abordadas as interfaces gráficas desenvolvidas para as duas formas de dimensionamento (conforme a disponibilidade de dejetos na propriedade ou de acordo com o consumo de biogás pelos equipamentos), as telas de entrada de dados e as interfaces com os dados de saída do programa. Também são apresentados alguns estudos de caso, para validar os resultados fornecidos pelo *software*.

5.1 BioProgram

O *software* desenvolvido recebeu o nome de BioProgram, que é junção do termo Bio, referente à biodigestor, com a palavra *Program*, que significa programa em inglês. O BioProgram foi criado para auxiliar os profissionais no dimensionamento do biodigestor indiano, de modo a diminuir os erros nos cálculos, agilizar o projeto e fornecer a viabilidade econômica da implantação, proporcionando, assim, facilidade, rapidez e confiabilidade nos resultados.

A Figura 23 apresenta a identidade visual do *software*.

Figura 23 - Identidade visual do *software*.



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Para desenvolver o programa foi utilizada a linguagem de programação Java, sendo esta uma linguagem de programação orientada a objetos. Diferente das linguagens de programação convencionais, a linguagem Java é compilada para um *bytecode* que é interpretado por uma Máquina Virtual Java (*Java Virtual Machine* - JVM). Assim, um programa Java pode ser executado em diversas plataformas, independente de qual seja o sistema operacional ou o processador que executa o código, sendo necessário apenas a presença de uma JVM. Devido à essa portabilidade, a linguagem Java tornou-se uma das linguagens mais utilizadas pelos programadores (SANTANA, 2011).

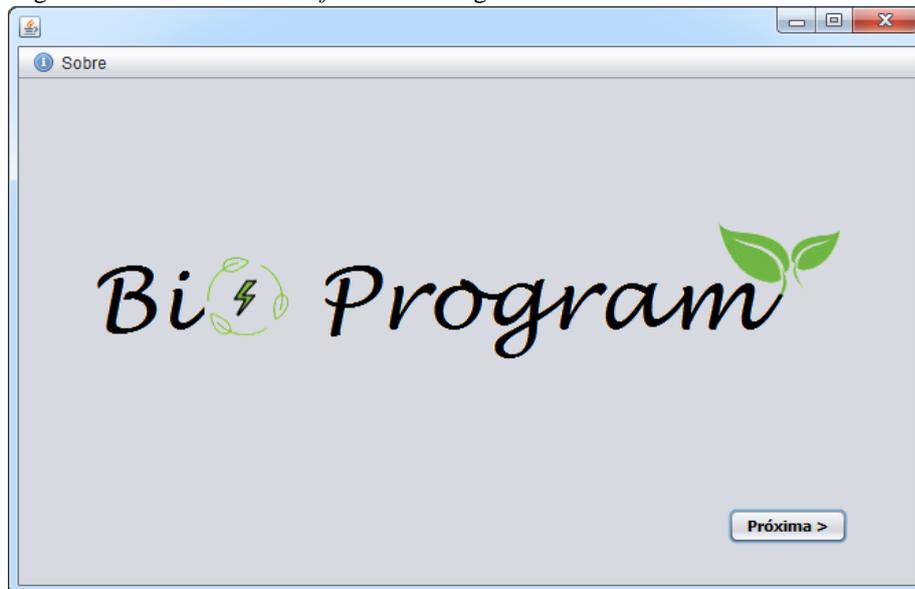
O ambiente de desenvolvimento integrado utilizado para criar o BioProgram foi o NetBeans IDE 8.2, sendo este um *software* gratuito e de código aberto, desenvolvido pela empresa *Sun Microsystems* (SANTANA, 2011).

Assim, com o NetBeans foi possível desenvolver um *software* com uma interface gráfica intuitiva, amigável e de fácil configuração, que é apresentada a seguir.

5.1.1 Interface gráfica inicial

Ao executar o BioProgram abre-se uma tela inicial, a qual contém a identidade visual do *software* e dois botões de comando, um denominado “Sobre” e o outro “Próxima”, como mostra a Figura 24.

Figura 24 - Tela inicial do *software* BioProgram.



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

A fim de informar o usuário sobre a origem do programa, seus criadores e, também, algumas recomendações de uso, ao acionar o botão “Sobre” é apresentada uma nova janela com o seguinte texto, elaborado pela autora (2018):

O *software* BioProgram visa promover a difusão e a democratização da tecnologia de biodigestão e da autoprodução de energia, ao auxiliar o dimensionamento de um biodigestor do modelo indiano. O programa permite que o usuário tenha noções das condições técnicas de implantação do sistema, do potencial energético, do investimento necessário e da viabilidade econômica. Deve-se ressaltar que o *software* serve como um norteador, assim, é preciso que o usuário procure profissionais da área que estarão se responsabilizando tecnicamente e analisando todas as especificações da implantação. A ferramenta computacional foi desenvolvida como parte da dissertação do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus Formiga, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica, pela discente Bruna Cássia Ferreira Silva, juntamente com o professor orientador Dr. Renan Souza Moura e com o co-orientador Dr. Ulysses Rondina Duarte.

A interface gráfica desenvolvida com as informações citadas é apresentada na Figura 25.

Figura 25 - Tela com informações sobre o programa desenvolvido.



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Ainda na tela inicial do *software*, conforme mostra a Figura 24, o botão “Próxima” ao ser acionado, redireciona o usuário para outra tela do programa, sendo esta apresentada na Figura 26.

Figura 26 - Tela para escolha da forma de dimensionamento.



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Nesta janela, o usuário define a forma de dimensionamento do biodigestor e, após isso, ao acionar o botão “Próxima”, o *software* redireciona-o para a tela “Entrada de Dados”, de acordo com o método selecionado. Caso o usuário deseje retornar para a tela inicial do programa, é preciso apenas acionar o botão “Anterior”.

5.1.2 Interface da primeira forma de dimensionamento

Ao solicitar o dimensionamento do biodigestor indiano conforme a disponibilidade de dejetos na propriedade, o usuário é direcionado para a tela “Entrada de Dados” apresentada na Figura 27.

Figura 27 - Tela de entrada de dados da primeira forma de dimensionamento.

Entrada de Dados Bio Program

Dados Técnicos

Tempo de retenção: Dias

Diâmetro interno do biodigestor: Metros

(O valor do diâmetro deve respeitar a relação: $2.0\text{ m} \leq \text{Diâmetro} \leq 6.0\text{ m}$)

Animais

Tipo de criação	Quantidade
<input type="checkbox"/> Vaca leiteira	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Bovino de corte	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Suíno de 25 kg a 100 kg	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Cachaço	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Porca em gestação	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Leitão na creche	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Caprino	<input type="text"/>

Dados Econômicos

Consumo médio de energia: kWh/mês

Valor da tarifa energética: R\$/kWh

Taxa média da inflação: %

Taxa SELIC: %

Deseja realizar o dimensionamento do conjunto motor gerador a biogás?

Sim Não

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Nesta interface o usuário deve fornecer os dados de entrada técnicos e econômicos, discutidos na Seção 4.2.1. Os primeiros dados são o tempo de retenção e o diâmetro interno do biodigestor, o qual deve respeitar a faixa de valores indicada. Em seguida, o usuário seleciona o tipo de criação presente na propriedade e indica a respectiva quantidade de animais, sendo possível informar mais que um tipo de criação.

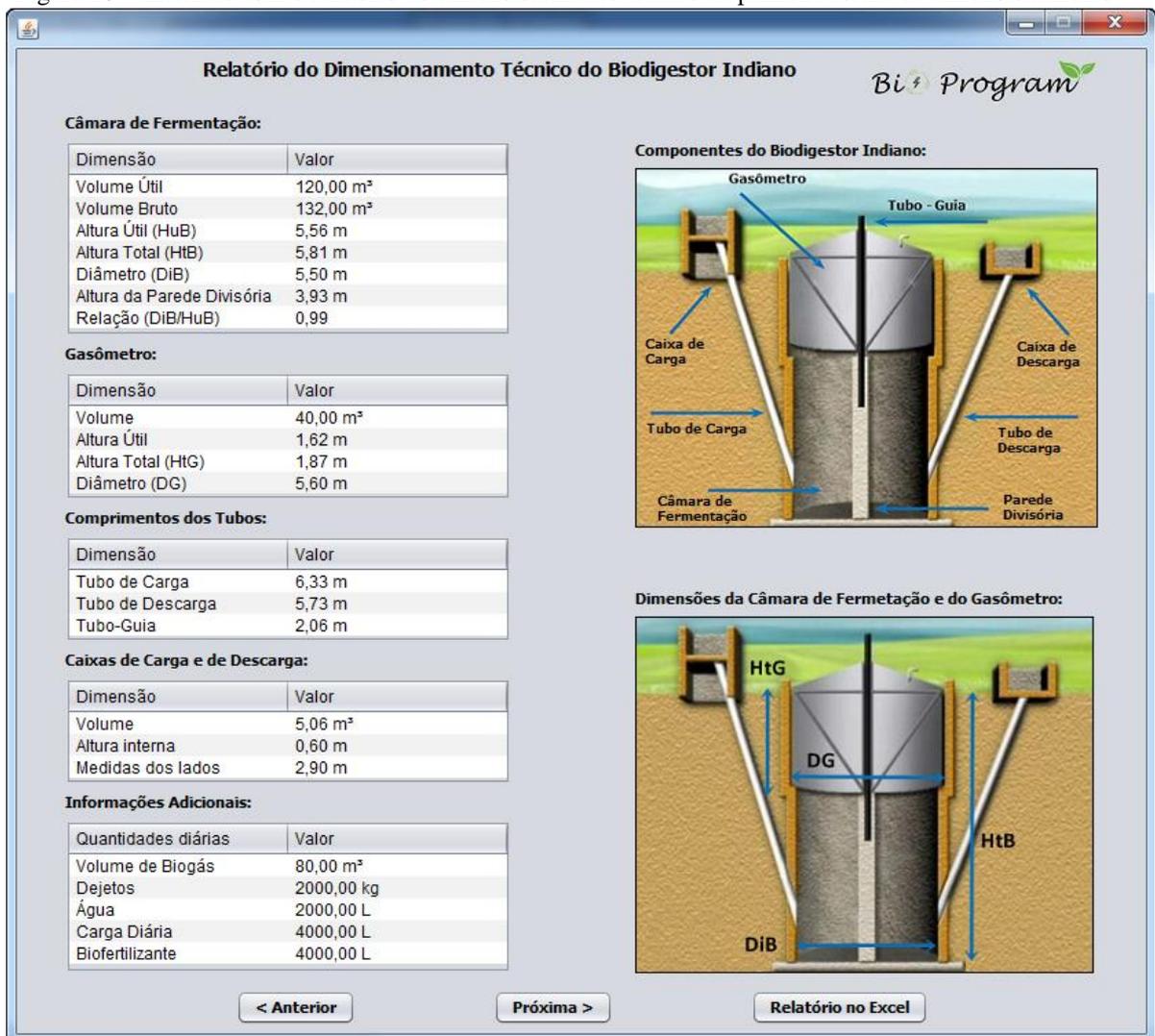
Além dos dados técnicos, informa-se também as variáveis econômicas, como o consumo médio de energia em kWh/mês, o valor da tarifa energética cobrada pela concessionária de energia da região de implantação, a taxa média da inflação e a taxa SELIC. Ainda na tela de

entrada, o usuário deve informar se deseja dimensionar o sistema de conversão do biogás em energia elétrica, ou seja, o conjunto motor gerador.

Para o público que possui o intuito de implantar o biodigestor para gerar o biogás de modo a utilizá-lo diretamente como combustível, o valor da variável de entrada “Consumo médio de energia” deve ser igual a zero.

A interface da entrada de dados da Figura 27 também apresenta dois botões de comando, “Anterior” e “Dimensionar”. Após inserir os dados de entrada, ao clicar no botão “Dimensionar” o programa redireciona o usuário automaticamente para a tela “Relatório do Dimensionamento Técnico do Biodigestor Indiano”, apresentada na Figura 28. Entretanto, se o usuário desejar retornar para a tela anterior e alterar a forma de dimensionamento, basta acionar o botão “Anterior”.

Figura 28 - Interface com o relatório do dimensionamento técnico da primeira forma de dimensionamento.



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

A interface “Relatório do Dimensionamento Técnico do Biodigestor Indiano”, presente na Figura 28, apresenta os valores das dimensões do biodigestor indiano e algumas informações adicionais, como discutido na Seção 4.5.1. Para uma melhor compreensão das variáveis de saída do relatório do dimensionamento técnico, a interface contém duas imagens ilustrativas, onde na primeira são indicados os componentes do biodigestor e, na segunda, algumas dimensões da estrutura.

Como pode-se observar na Figura 28, a tela “Relatório do Dimensionamento Técnico do Biodigestor Indiano” possui três botões de comando denominados “Anterior”, “Próxima” e “Relatório no Excel”. O botão “Anterior”, quando acionado, retorna o usuário para a janela “Entrada de Dados”. Já o botão de comando “Relatório no Excel” gera uma planilha em arquivo.xlsx contendo todos os dados apresentados na interface do relatório do dimensionamento técnico. Isso garante ao usuário a possibilidade de salvar os dados dimensionados.

A Figura 29 mostra a planilha gerada no arquivo.xlsx.

Figura 29 - Planilha com os dados do dimensionamento técnico gerada em um arquivo.xlsx na primeira forma de dimensionamento.

	A	B
1	Relatório do Dimensionamento Técnico	
2		
3	Câmara de Fermentação:	
4	Volume Útil	120,00 m³
5	Volume Bruto	132,00 m³
6	Altura Útil (HuB)	5,56 m
7	Altura Total (HtB)	5,81 m
8	Diâmetro (DiB)	5,50 m
9	Altura da Parede Divisória	3,93 m
10	Relação (DiB/HuB)	0,99
11	Gasômetro:	
12	Volume	40,00 m³
13	Altura Útil (HuG)	1,62 m
14	Altura Total (HtG)	1,87 m
15	Diâmetro (DG)	5,60 m
16	Comprimentos dos Tubos:	
17	Tubo de Carga	6,33 m
18	Tubo de Descarga	5,73 m
19	Tubo-Guia	2,06 m
20	Caixas de Carga e de Descarga:	
21	Volume	5,06 m³
22	Atura interna	0,60 m
23	Medidas dos lados	2,90 m
24	Informações Adicionais:	
25	Volume de Biogás	80,00 m³
26	Dejetos	2000,00 Kg
27	Água	2000,00 L
28	Carga Diária	4000,00 L
29	Biofertilizante	4000,00 L
	Relatório do Dimensionamento Té	

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Após analisar os dados do relatório do dimensionamento técnico, ao clicar no botão “Próxima”, o *software* redireciona o usuário para a janela “Planilha Orçamentária do Projeto”, como mostra a Figura 30.

Figura 30 - Interface com a planilha orçamentária da primeira forma de dimensionamento.

Produto ou Serviço	Unidade	Quantidade	Preço (R\$)	Valor Total (R\$)
Chapa de aço galvanizada GSG 14	kg	915,00	7,12	6.518,17
Tijolos	un	21.799,00	0,26	5.667,74
Cimento	50kg	140,00	17,90	2.514,23
Vergalhão (3/8 pol)	kg	290,00	4,44	1.291,52
Vergalhão (5 mm)	kg	130,00	4,40	574,64
Areia Média	m³	9,56	61,67	589,71
Areia Fina	m³	6,61	65,38	432,47
Pedra Britada 2	m³	5,24	58,75	307,80
Pedra Britada 1	m³	1,75	58,75	102,60
Tubo PVC (150 mm)	m	12,19	19,16	233,52
Tubo de aço galvanizado (3 pol)	m	1,89	72,79	137,77
Tubo de aço galvanizado (2 1/2 pol)	m	2,08	54,09	112,62
Tubo de aço galvanizado (3/4 pol)	m	0,10	13,96	1,41
Impermeabilizante	kg	20,00	4,35	90,97
Arame	kg	8,00	9,10	72,80
Saibro	m²	1,33	54,68	72,54
Tábua (25 x 30 cm)	m	1,18	14,89	17,63
Sarrafo (2,5 x 7,0 cm)	m	2,20	4,48	9,87
Prego com cabeça dupla (17x27)	kg	0,82	10,83	8,84
Prego com cabeça (17x21)	kg	0,12	8,78	1,08
Desmoldante	L	0,41	5,19	2,12
Retroescavadeira	h	5,39	36,741	198,11
Compactador de placa vibratória	h	6,55	3,2524	21,30
SUBTOTAL DOS MATERIAIS				R\$ 18.979,48
Pedreiro	h	562,00	14,00	7.868,00
Servente	h	729,00	9,15	6.670,35
Operador da Retroescavadeira	h	5,39	15,89	85,68
SUBTOTAL DA MÃO DE OBRA				R\$ 14.624,03
CUSTOS ADICIONAIS				R\$ 3.360,35
Conjunto Motor Gerador	30.0kVA	1	45.000,00	R\$ 45.000,00
TOTAL				R\$ 81.963,86

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Nesta interface, o programa fornece ao usuário uma planilha com as quantidades e os preços dos produtos e serviços necessários para a implantação do sistema de biodigestão. Além disso, também apresenta a potência e o preço do conjunto motor gerador, caso o usuário tenha requerido o seu dimensionamento na entrada de dados, apresentada na Figura 27.

A planilha orçamentária também pode ser gerada em um arquivo.xlsx, como mostra a Figura 31, sendo preciso apenas acionar o botão de comando “Planilha no Excel”.

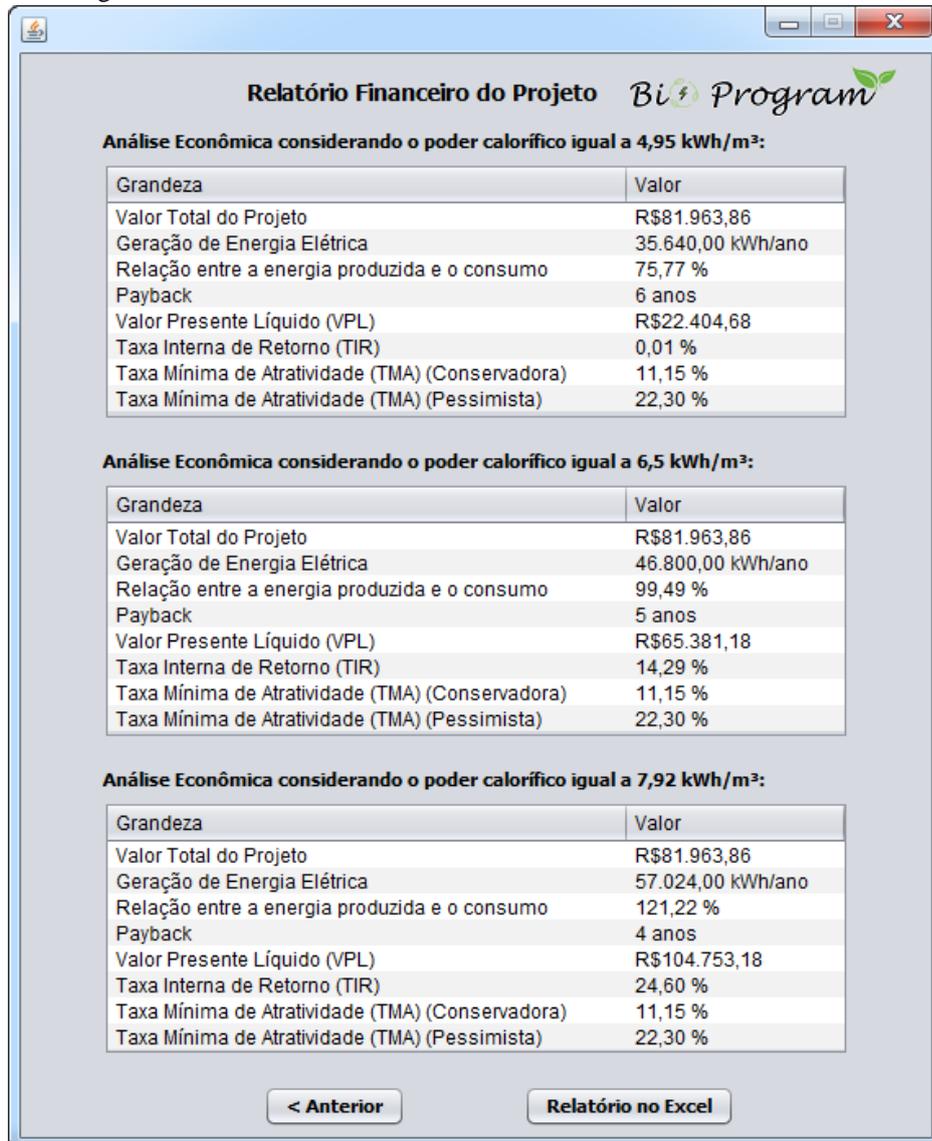
Figura 31 - Planilha orçamentária do projeto gerada em um arquivo.xlsx na primeira forma de dimensionamento.

	A	B	C	D	E
1	Planilha Orçamentária				
2					
3	Produto ou Serviço	Unidade	Quantidade	Preço (R\$)	Valor Total (R\$)
4	Chapa de aço galvanizada GSG 14	kg	915,00	7,12	6.518,17
5	Tijolos	un	21.799,00	0,26	5.667,74
6	Cimento	50kg	140,00	17,90	2.514,23
7	Vergalhão (3/8 pol)	kg	290,00	4,44	1.291,52
8	Vergalhão 5 mm	kg	130,00	4,40	574,64
9	Areia Média	m ³	9,56	61,67	589,71
10	Areia Fina	m ³	6,61	65,38	432,47
11	Pedra Britada 2	m ³	5,24	58,75	307,80
12	Pedra Britada 1	m ³	1,75	58,75	102,60
13	Tubo PVC (150 mm)	m	12,19	19,16	233,52
14	Tubo de aço galvanizado(3 pol)	m	1,89	72,79	137,77
15	Tubo de aço galvanizado(2 1/2 pol)	m	2,08	54,09	112,62
16	Tubo de aço galvanizado(3/4 pol)	m	0,10	13,96	1,41
17	Impermeabilizante	kg	20,00	4,35	90,97
18	Arame	kg	8,00	9,10	72,80
19	Saibro	m ³	1,33	54,68	72,54
20	Tábua (25 x 30 cm)	m	1,18	14,89	17,63
21	Sarrafo (2,5 x 7,0 cm)	m	2,20	4,48	9,87
22	Prego com cabeça dupla (17x27)	kg	0,82	10,83	8,84
23	Prego com cabeça (17x21)	kg	0,12	8,78	1,08
24	Desmoldante	L	0,41	5,19	2,12
25	Retroescavadeira	h	5,39	36,741	198,11
26	Compactador de placa vibratória	h	6,55	3,2524	21,30
27	Subtotal dos Materiais				R\$ 18.979,48
28					
29	Pedreiro	h	562,00	14,00	7.868,00
30	Servente	h	729,00	9,15	6.670,35
31	Operador da Retroescavadeira	h	5,39	15,89	85,68
32	Subtotal da Mão de Obra				R\$ 14.624,03
33					
34	Custos Adicionais				R\$ 3.360,35
35					
36	Conjunto Motor Gerador	30.0kVA	1	45.000,00	R\$ 45.000,00
37					
38	TOTAL				R\$ 81.963,86
39					

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Além do botão de comando “Planilha no Excel”, a interface “Planilha Orçamentária do Projeto”, Figura 30, contém o botão “Anterior”, que retorna o usuário para a tela “Relatório do Dimensionamento Técnico do Biodigestor Indiano”, Figura 28, e o botão “Próxima”, o qual tem como função redirecionar o usuário para a última interface de saída do programa, chamada “Relatório Financeiro do Projeto”, que é apresentada na Figura 32.

Figura 32 - Interface com o relatório financeiro do projeto da primeira forma de dimensionamento, para o caso em que o objetivo é produzir o biogás para a geração de energia elétrica.



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Como foi relatado na Seção 4.5.4, no estudo financeiro do projeto são apresentadas três análises econômicas, uma considerando o poder calorífico do biogás igual a 4,95 kWh/m³, outra considerando-o equivalente a 6,5 kWh/m³ e a última análise para o valor de 7,92 kWh/m³. Dessa forma, apresenta-se ao usuário os três possíveis cenários econômicos que podem ocorrer com a implantação do projeto.

Em cada análise econômica são apresentados os dados descritos no Quadro 6, presente na Seção 4.5.4. O relatório financeiro apresentado na Figura 32, aborda o caso em que é solicitado o dimensionamento do biodigestor com o objetivo de produzir o biogás para a geração de energia elétrica. Assim, apresenta-se as variáveis de saída “Geração de Energia Elétrica” e “Relação entre a energia produzida e o consumo”. Para a situação em que o

dimensionamento do biodigestor é requerido com o intuito de produzir o biogás para o consumo direto, a variável de saída apresentada no relatório financeiro é a “Geração de biogás equivalente a”, que compara a quantidade de biogás produzido com o seu equivalente em energia elétrica, como mostra a Figura 33.

Figura 33 - Interface com o relatório financeiro do projeto da primeira forma de dimensionamento, para o caso em que o intuito é gerar o biogás para o consumo direto nos equipamentos.

Relatório Financeiro do Projeto *Bi Program*

Análise Econômica considerando o poder calorífico igual a 4,95 kWh/m³:

Grandeza	Valor
Valor Total do Projeto	R\$36.963,86
Geração de biogás equivalente a	35.640,00 kWh/ano
Payback	3 anos
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$85.455,96
Taxa Interna de Retorno (TIR)	42,49 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Conservadora)	11,15 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Pessimista)	22,30 %

Análise Econômica considerando o poder calorífico igual a 6,5 kWh/m³:

Grandeza	Valor
Valor Total do Projeto	R\$36.963,86
Geração de biogás equivalente a	46.800,00 kWh/ano
Payback	2 anos
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$128.432,46
Taxa Interna de Retorno (TIR)	59,64 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Conservadora)	11,15 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Pessimista)	22,30 %

Análise Econômica considerando o poder calorífico igual a 7,92 kWh/m³:

Grandeza	Valor
Valor Total do Projeto	R\$36.963,86
Geração de biogás equivalente a	57.024,00 kWh/ano
Payback	2 anos
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$167.804,47
Taxa Interna de Retorno (TIR)	74,18 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Conservadora)	11,15 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Pessimista)	22,30 %

< Anterior Relatório no Excel

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Os dados apresentados na interface “Relatório Financeiro do Projeto” são determinados por meio de planilhas de análise econômica geradas pelo *software*, as quais são exibidas em um arquivo.xlsx ao acionar o botão “Relatório no Excel”.

As Figuras 34, 35 e 36, apresentam as planilhas de análise econômica geradas para o poder calorífico igual a 4,95 kWh/m³, 6,5 kWh/m³ e 7,92 kWh/m³, respectivamente.

Figura 34 - Planilha de análise econômica considerando o poder calorífico igual a 4,95 kWh/m³ da primeira forma de dimensionamento.

	A	B	C	D	E	F
1	Análise Econômica					
2						
3	Período (Ano)	Geração (kWh/ano)	Tarifa (R\$/kWh)	Custo (R\$)	Remuneração de Energia (R\$)	Fluxo de Caixa (R\$)
4	0	35.640,00	0,00	-81.963,86	0,00	-81.963,86
5	1	35.640,00	0,48	-4.098,19	17.107,20	-68.954,85
6	2	35.640,00	0,51	-4.382,20	18.292,73	-55.044,32
7	3	35.640,00	0,55	-4.685,88	19.560,41	-40.169,79
8	4	35.640,00	0,59	-5.010,62	20.915,95	-24.264,46
9	5	35.640,00	0,63	-5.357,85	22.365,43	-7.256,88
10	6	35.640,00	0,67	-5.729,15	23.915,35	10.929,32
11	7	35.640,00	0,72	-6.126,18	25.572,69	30.375,83
12	8	35.640,00	0,77	-6.550,73	27.344,87	51.169,97
13	9	35.640,00	0,82	-7.004,69	29.239,87	73.405,15
14	10	35.640,00	0,88	-7.490,12	31.266,19	97.181,23
15						
16						
17						
18					Valores Econômicos	
19					Geração de Energia Elétrica:	35.640,00 kWh/ano
20					Relação entre a energia produzida e o consumo:	75,77 %
21					Payback:	6 anos
22					Valor Presente Líquido (VPL):	R\$ 22.404,68
23					Taxa Interna de Retorno (TIR):	0,01 %
24					Taxa Interna de Retorno (TIR) (Conservadora):	11,15 %
25					Taxa Interna de Retorno (TIR) (Pessimista):	22,30 %
26						
27						
	Poder Calorífico de 4.95 Poder Calorífico de 6.5 Poder Calorífico de 7.92					

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Figura 35 - Planilha de análise econômica considerando o poder calorífico igual a 6,5 kWh/m³ da primeira forma de dimensionamento.

	A	B	C	D	E	F
1	Análise Econômica					
2						
3	Período (Ano)	Geração (kWh/ano)	Tarifa (R\$/kWh)	Custo (R\$)	Remuneração de Energia (R\$)	Fluxo de Caixa (R\$)
4	0	46.800,00	0,00	-81.963,86	0,00	-81.963,86
5	1	46.800,00	0,48	-4.098,19	22.464,00	-63.598,05
6	2	46.800,00	0,51	-4.382,20	24.020,76	-43.959,50
7	3	46.800,00	0,55	-4.685,88	25.685,39	-22.959,99
8	4	46.800,00	0,59	-5.010,62	27.465,39	-505,21
9	5	46.800,00	0,63	-5.357,85	29.368,74	23.505,68
10	6	46.800,00	0,67	-5.729,15	31.404,00	49.180,53
11	7	46.800,00	0,72	-6.126,18	33.580,29	76.634,64
12	8	46.800,00	0,77	-6.550,73	35.907,41	105.991,32
13	9	46.800,00	0,82	-7.004,69	38.395,79	137.382,42
14	10	46.800,00	0,88	-7.490,12	41.056,62	170.948,92
15						
16						
17						
18					Valores Econômicos	
19					Geração de Energia Elétrica:	46.800,00 kWh/ano
20					Relação entre a energia produzida e o consumo:	99,49 %
21					Payback:	5 anos
22					Valor Presente Líquido (VPL):	R\$ 65.381,18
23					Taxa Interna de Retorno (TIR):	14,29 %
24					Taxa Interna de Retorno (TIR) (Conservadora):	11,15 %
25					Taxa Interna de Retorno (TIR) (Pessimista):	22,30 %
26						
27						
	Poder Calorífico de 4.95 Poder Calorífico de 6.5 Poder Calorífico de 7.92					

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Figura 36 - Planilha de análise econômica considerando o poder calorífico igual a 7,92 kWh/m³ da primeira forma de dimensionamento.

	A	B	C	D	E	F
1	Análise Econômica					
2						
3	Período (Ano)	Geração (kWh/ano)	Tarifa (R\$/kWh)	Custo (R\$)	Remuneração de Energia (R\$)	Fluxo de Caixa (R\$)
4	0	57.024,00	0,00	-81.963,86	0,00	-81.963,86
5	1	57.024,00	0,48	-4.098,19	27.371,52	-58.690,53
6	2	57.024,00	0,51	-4.382,20	29.268,37	-33.804,36
7	3	57.024,00	0,55	-4.685,88	31.296,66	-7.193,58
8	4	57.024,00	0,59	-5.010,62	33.465,52	21.261,32
9	5	57.024,00	0,63	-5.357,85	35.784,68	51.688,16
10	6	57.024,00	0,67	-5.729,15	38.264,56	84.223,57
11	7	57.024,00	0,72	-6.126,18	40.916,30	119.013,69
12	8	57.024,00	0,77	-6.550,73	43.751,79	156.214,75
13	9	57.024,00	0,82	-7.004,69	46.783,79	195.993,86
14	10	57.024,00	0,88	-7.490,12	50.025,91	238.529,66
15						
16						
17						
18					Valores Econômicos	
19					Geração de Energia Elétrica:	57.024,00 kWh/ano
20					Relação entre a energia produzida e o consumo:	121,22 %
21					Payback:	4 anos
22					Valor Presente Líquido (VPL):	R\$ 104.753,18
23					Taxa Interna de Retorno (TIR):	24,60 %
24					Taxa Interna de Retorno (TIR) (Conservadora):	11,15 %
25					Taxa Interna de Retorno (TIR) (Pessimista):	22,30 %
26						
27						

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Ao observar as Figuras 34, 35 e 36, percebe-se que as planilhas apresentam o período da análise econômica; a quantidade de energia elétrica gerada anualmente; a tarifa de energia e o custo anual com manutenções, corrigidos a cada período pela taxa de inflação; a remuneração pela energia produzida, determinada pela multiplicação entre a quantidade de energia gerada e a tarifa energética do período; e o fluxo de caixa, que é a soma do fluxo de caixa do período anterior com os valores da remuneração e do custo anual no período. Além disso, os dados gerados na interface “Relatório Financeiro do Projeto” também são apresentados nas planilhas.

Semelhante às outras interfaces, a tela “Relatório Financeiro do Projeto” também possui o botão “Anterior”, como pode ser visto na Figura 33, cuja função é redirecionar o usuário para a tela “Planilha Orçamentária do Projeto” quando acionado.

5.1.3 Interface da segunda forma de dimensionamento

Caso o usuário escolha na interface da Figura 26 dimensionar o biodigestor conforme o consumo de biogás dos equipamentos da propriedade, o *software* redireciona-o para a tela “Entrada de Dados” apresentada na Figura 37.

Figura 37 - Tela de entrada de dados para a segunda forma de dimensionamento.

Entrada de Dados Bio Program

Dados Técnicos

Tempo de retenção: Dias

Quantidade de pessoas na propriedade: Pessoas

Diâmetro interno do biodigestor : Metros

(O valor do diâmetro deve respeitar a relação: $2,0\text{ m} \leq \text{Diâmetro} \leq 6,0\text{ m}$)

Tipo de criação de animais

Vaca leiteira Porca em gestação

Bovino de corte Leitão na creche

Suíno de 25 kg a 100 kg Caprino

Cachaço

Fontes de consumo de biogás

Equipamentos	Quantidade	Horas	Potência (HP)
<input type="checkbox"/> Motor	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Lampião	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
<input type="checkbox"/> Campânula	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
<input type="checkbox"/> Geladeira	<input type="text"/>		
<input type="checkbox"/> Fogão	<input type="text"/>		
<input type="checkbox"/> Chuveiro	<input type="text"/>		

Dados Econômicos

Valor da tarifa energética: R\$/kWh

Taxa média da inflação: %

Taxa SELIC: %

< Anterior Dimensionar

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

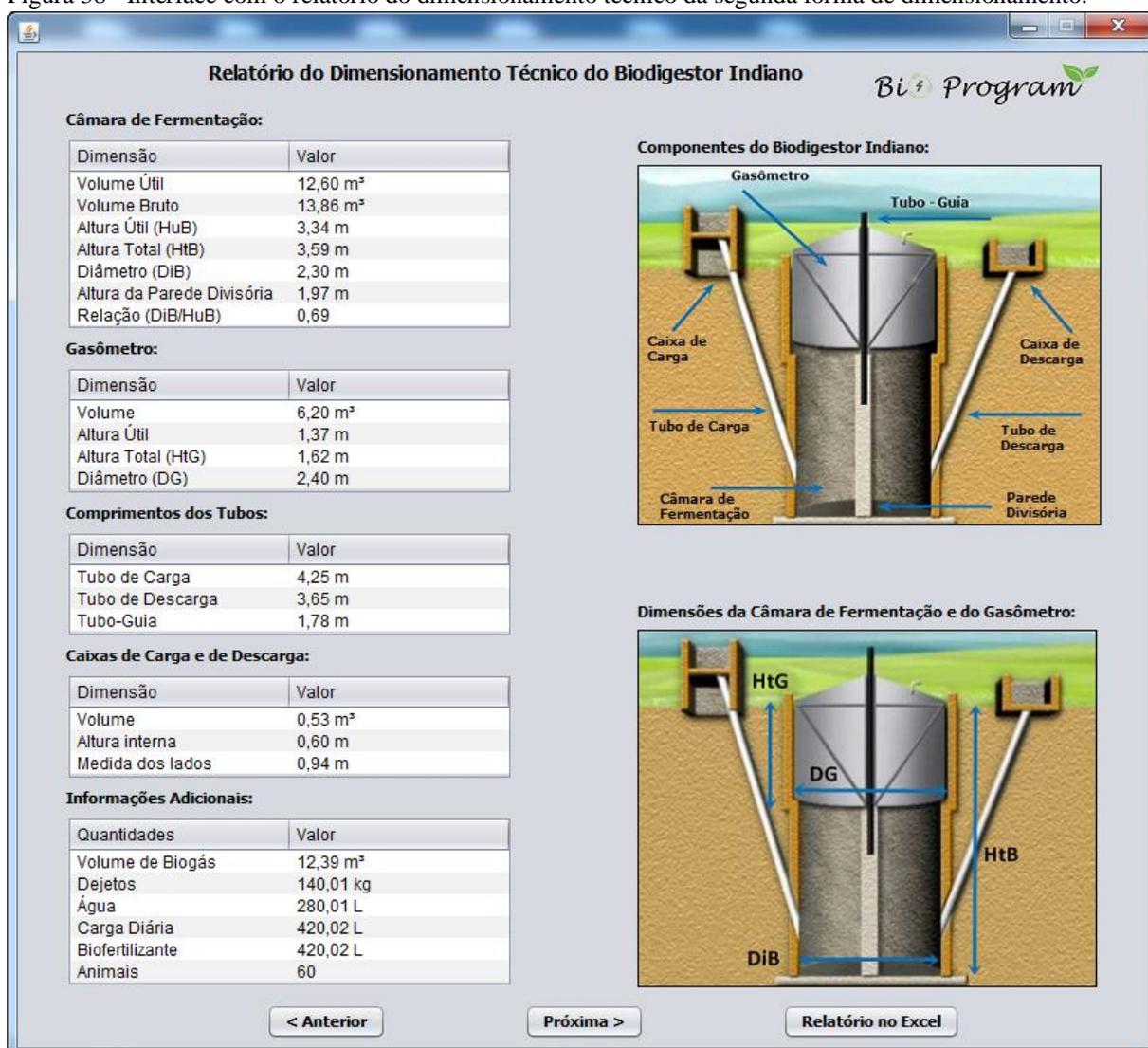
Os primeiros dados que devem ser fornecidos pelo usuário são o tempo de retenção, a quantidade de pessoas que vivem na propriedade e o diâmetro interno do biodigestor, cujo valor deve respeitar a relação indicada na interface. Depois, é preciso que o usuário indique o tipo de criação que fornecerá os dejetos para o processo de biodigestão, sendo possível informar apenas um tipo.

Os próximos dados de entrada técnicos que devem ser fornecidos são as fontes de consumo de biogás. O usuário deve selecionar o tipo de equipamento, indicar a quantidade e,

para alguns, informar as horas diárias que o mesmo é utilizado e o seu respectivo valor de potência em hp. O programa permite que o usuário selecione mais de um tipo de equipamento.

Além dos dados técnicos, é preciso que o usuário informe também as variáveis econômicas “Valor da tarifa energética”, “Taxa média da inflação” e “Taxa SELIC”. Assim, após fornecer os dados de entrada, ao acionar o botão “Dimensionar”, o usuário é redirecionado para a interface “Relatório do Dimensionamento Técnico do Biodigestor Indiano” apresentada na Figura 38.

Figura 38 - Interface com o relatório do dimensionamento técnico da segunda forma de dimensionamento.



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Nesta interface são apresentados os dados do dimensionamento técnico e algumas informações adicionais, como a quantidade de animais que a propriedade deve possuir para fornecer a carga diária ao biodigestor indiano. Há também a possibilidade de esses dados serem

apresentados em um arquivo.xlsx. para isso, basta clicar no botão de comando “Relatório no Excel” presente na interface da Figura 38. O arquivo.xlsx gerado pode ser visto na Figura 39.

Figura 39 - Planilha com os dados do dimensionamento técnico gerada em um arquivo.xlsx na segunda forma de dimensionamento.

	A	B
1	Relatório do Dimensionamento Técnico	
2		
3	Câmara de Fermentação:	
4	Volume Útil	12,60 m ³
5	Volume Bruto	13,86 m ³
6	Altura Útil (HuB)	3,34 m
7	Altura Total (HtB)	3,59 m
8	Diâmetro (DiB)	2,30 m
9	Altura da Parede Divisória	1,97 m
10	Relação (DiB/HuB)	0,69
11	Gasômetro:	
12	Volume	6,20 m ³
13	Altura Útil (HuG)	1,37 m
14	Altura Total (HtG)	1,62 m
15	Diâmetro (DG)	2,40 m
16	Comprimentos dos Tubos:	
17	Tubo de Carga	4,25 m
18	Tubo de Descarga	3,65 m
19	Tubo-Guia	1,78 m
20	Caixas de Carga e de Descarga:	
21	Volume	0,53 m ³
22	Atura interna	0,60 m
23	Medidas dos lados	0,94 m
24	Informações Adicionais:	
25	Volume de Biogás	12,39 m ³
26	Dejetos	140,01 Kg
27	Água	280,01 L
28	Carga Diária	420,02 L
29	Biofertilizante	420,02 L
30	Animais	60
31		

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Ao acionar o botão de comando “Próxima” na interface “Relatório do Dimensionamento Técnico do Biodigestor Indiano”, Figura 38, o programa direciona o usuário para a janela “Planilha Orçamentária do Projeto”, sendo esta mostrada na Figura 40.

Figura 40 - Interface com a planilha orçamentária da segunda forma de dimensionamento.

Produto ou Serviço	Unidade	Quantidade	Preço	Valor Total
Chapa de aço galvanizada GSG 14	kg	264,00	7,12	1.880,79
Tijolos	un	5.600,00	0,26	1.456,00
Cimento	50kg	41,00	17,90	748,22
Vergalhão (3/8 pol)	kg	75,00	4,44	334,29
Vergalhão (5 mm)	kg	33,00	4,40	148,74
Areia Média	m³	3,31	61,67	204,01
Areia Fina	m³	1,69	65,38	110,43
Pedra Britada 2	m³	1,93	58,75	113,60
Pedra Britada 1	m³	0,64	58,75	37,87
Tubo PVC (150 mm)	m	7,99	19,16	153,07
Tubo de aço galvanizado (3 pol)	m	1,64	72,79	119,05
Tubo de aço galvanizado (2 1/2 pol)	m	1,80	54,09	97,32
Tubo de aço galvanizado (3/4 pol)	m	0,10	13,96	1,41
Impermeabilizante	kg	5,00	4,35	23,68
Arame	kg	2,00	9,10	18,20
Saibro	m²	0,34	54,68	18,52
Tábua (25 x 30 cm)	m	0,61	14,89	9,14
Sarrafo (2,5 x 7,0 cm)	m	1,14	4,48	5,12
Prego com cabeça dupla (17x27)	kg	0,42	10,83	4,58
Prego com cabeça (17x21)	kg	0,06	8,78	0,56
Desmoldante	L	0,21	5,19	1,10
Retroscavadeira	h	0,93	36,741	34,08
Compactador de placa vibratória	h	1,49	3,2524	4,85
SUBTOTAL DOS MATERIAIS				R\$ 5.524,63
Pedreiro	h	143,00	14,00	2.002,00
Servente	h	192,00	9,15	1.756,80
Operador da Retroscavadeira	h	0,93	15,89	14,74
SUBTOTAL DA MÃO DE OBRA				R\$ 3.773,54
CUSTOS ADICIONAIS				R\$ 929,82
			TOTAL	R\$ 10.227,99

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Pode-se observar na Figura 40, que a “Planilha Orçamentária do Projeto” para esta forma de dimensionamento do biodigestor apresenta as quantidades e os preços dos insumos utilizados na implantação do sistema de biodigestão. Entretanto, não compreende o conjunto motor gerador entre os equipamentos. Isso ocorre porque, o intuito dessa forma de dimensionamento é a produção do biogás para o seu consumo direto nos equipamentos da propriedade, assim, não é necessário o conjunto motor gerador para realizar a conversão do biogás em energia elétrica.

Os dados contidos na “Planilha Orçamentária do Projeto” também são exibidos em um arquivo.xlsx ao acionar o botão “Planilha no Excel”. A Figura 41 mostra o arquivo.xlsx criado.

Figura 41 - Planilha orçamentária do projeto gerada em um arquivo.xlsx na segunda forma de dimensionamento.

	A	B	C	D	E
1	Planilha Orçamentária				
2					
3	Produto ou Serviço	Unidade	Quantidade	Preço (R\$)	Valor Total (R\$)
4	Chapa de aço galvanizada GSG 14	kg	264,00	7,12	1.880,79
5	Tijolos	un	5.600,00	0,26	1.456,00
6	Cimento	50kg	41,00	17,90	748,22
7	Vergalhão (3/8 pol)	kg	75,00	4,44	334,29
8	Vergalhão 5 mm	kg	33,00	4,40	148,74
9	Areia Média	m³	3,31	61,67	204,01
10	Areia Fina	m³	1,69	65,38	110,43
11	Pedra Britada 2	m³	1,93	58,75	113,60
12	Pedra Britada 1	m³	0,64	58,75	37,87
13	Tubo PVC (150 mm)	m	7,99	19,16	153,07
14	Tubo de aço galvanizado(3 pol)	m	1,64	72,79	119,05
15	Tubo de aço galvanizado(2 1/2 pol)	m	1,80	54,09	97,32
16	Tubo de aço galvanizado(3/4 pol)	m	0,10	13,96	1,41
17	Impermeabilizante	kg	5,00	4,35	23,68
18	Arame	kg	2,00	9,10	18,20
19	Saibro	m³	0,34	54,68	18,52
20	Tábua (25 x 30 cm)	m	0,61	14,89	9,14
21	Sarrafo (2,5 x 7,0 cm)	m	1,14	4,48	5,12
22	Prego com cabeça dupla (17x27)	kg	0,42	10,83	4,58
23	Prego com cabeça (17x21)	kg	0,06	8,78	0,56
24	Desmoldante	L	0,21	5,19	1,10
25	Retroescavadeira	h	0,93	36,741	34,08
26	Compactador de placa vibratória	h	1,49	3,2524	4,85
27	Subtotal dos Materiais				R\$ 5.524,63
28					
29	Pedreiro	h	143,00	14,00	2.002,00
30	Servente	h	192,00	9,15	1.756,80
31	Operador da Retroescavadeira	h	0,93	15,89	14,74
32	Subtotal da Mão de Obra				R\$ 3.773,54
33					
34	Custos Adicionais				R\$ 929,82
35					
36	TOTAL				R\$ 10.227,99

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Na interface da “Planilha Orçamentária do Projeto”, Figura 40, além do botão “Planilha no Excel”, há outros dois botões de comando, o “Anterior” e o “Próxima”. Ao acionar o botão “Próxima”, o *software* apresenta ao usuário a última interface de saída denominada “Relatório Financeiro do Projeto”, a qual pode ser vista na Figura 42.

Figura 42 - Interface com o relatório financeiro do projeto da segunda forma de dimensionamento.

Relatório Financeiro do Projeto *Bio Program*

Análise Econômica considerando o poder calorífico igual a 4,95 kWh/m³:

Grandeza	Valor
Valor Total do Projeto	R\$10.227,99
Geração de biogás equivalente a	5.440,62 kWh/ano
Payback	5 anos
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$6.620,66
Taxa Interna de Retorno (TIR)	10,55 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Conservadora)	11,15 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Pessimista)	22,30 %

Análise Econômica considerando o poder calorífico igual a 6,5 kWh/m³:

Grandeza	Valor
Valor Total do Projeto	R\$10.227,99
Geração de biogás equivalente a	7.144,25 kWh/ano
Payback	4 anos
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$13.181,23
Taxa Interna de Retorno (TIR)	24,80 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Conservadora)	11,15 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Pessimista)	22,30 %

Análise Econômica considerando o poder calorífico igual a 7,92 kWh/m³:

Grandeza	Valor
Valor Total do Projeto	R\$10.227,99
Geração de biogás equivalente a	8.704,99 kWh/ano
Payback	3 anos
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$19.191,55
Taxa Interna de Retorno (TIR)	35,41 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Conservadora)	11,15 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Pessimista)	22,30 %

< Anterior Relatório no Excel

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Os dados apresentados em cada análise econômica, conforme o poder calorífico do biogás, são os dados descritos no Quadro 7 da Seção 4.5.4. Entre essas variáveis, o dado “Geração de biogás equivalente a” indica a quantidade de energia elétrica que equivale a quantidade de biogás gerado anualmente pelo sistema de biodigestão. Dessa forma, o usuário pode perceber a economia gerada com a utilização do biogás na propriedade.

Para determinar esses dados, o *software* gera planilhas econômicas, as quais apresentam a quantidade anual de energia elétrica equivalente a produção de biogás; a tarifa energética e o custo anual com manutenções, corrigidos pela taxa de inflação; o retorno financeiro obtido com o uso do biogás; e o fluxo de caixa. Essas planilhas são exibidas em um arquivo.xlsx ao acionar o botão “Relatório no Excel”.

As Figuras 43, 44 e 45, mostram as planilhas de análise econômica geradas pelo programa, de acordo com o poder calorífico do biogás.

Figura 43 - Planilha de análise econômica considerando o poder calorífico igual a 4,95 kWh/m³ da segunda forma de dimensionamento.

	A	B	C	D	E	F
1	Análise Econômica					
2						
3	Período (Ano)	Geração (kWh/ano)	Tarifa (R\$/kWh)	Custo (R\$)	Retorno Financeiro (R\$)	Fluxo de Caixa (R\$)
4	0	5.440,62	0,00	-10.227,99	0,00	-10.227,99
5	1	5.440,62	0,48	-511,40	2.611,50	-8.127,89
6	2	5.440,62	0,51	-546,84	2.792,47	-5.882,26
7	3	5.440,62	0,55	-584,74	2.985,99	-3.481,00
8	4	5.440,62	0,59	-625,26	3.192,92	-913,34
9	5	5.440,62	0,63	-668,59	3.414,19	1.832,27
10	6	5.440,62	0,67	-714,92	3.650,79	4.768,14
11	7	5.440,62	0,72	-764,47	3.903,79	7.907,47
12	8	5.440,62	0,77	-817,44	4.174,33	11.264,35
13	9	5.440,62	0,82	-874,09	4.463,61	14.853,87
14	10	5.440,62	0,88	-934,67	4.772,94	18.692,14
15						
16						
17						
18					Valores Econômicos	
19					Geração de biogás equivalente a:	5.440,62 kWh/ano
20					Payback:	5 anos
21					Valor Presente Líquido (VPL):	R\$ 6.620,66
22					Taxa Interna de Retorno (TIR):	10,55 %
23					Taxa Interna de Retorno (TIR) (Conservadora):	11,15 %
24					Taxa Interna de Retorno (TIR) (Pessimista):	22,30 %
25						
26						
27						

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Figura 44 - Planilha de análise econômica considerando o poder calorífico igual a 6,5 kWh/m³ da segunda forma de dimensionamento.

	A	B	C	D	E	F
1	Análise Econômica					
2						
3	Período (Ano)	Geração (kWh/ano)	Tarifa (R\$/kWh)	Custo (R\$)	Retorno Financeiro (R\$)	Fluxo de Caixa (R\$)
4	0	7.144,25	0,00	-10.227,99	0,00	-10.227,99
5	1	7.144,25	0,48	-511,40	3.429,24	-7.310,15
6	2	7.144,25	0,51	-546,84	3.666,89	-4.190,10
7	3	7.144,25	0,55	-584,74	3.921,00	-853,84
8	4	7.144,25	0,59	-625,26	4.192,73	2.713,63
9	5	7.144,25	0,63	-668,59	4.483,28	6.528,32
10	6	7.144,25	0,67	-714,92	4.793,97	10.607,37
11	7	7.144,25	0,72	-764,47	5.126,19	14.969,10
12	8	7.144,25	0,77	-817,44	5.481,44	19.633,10
13	9	7.144,25	0,82	-874,09	5.861,30	24.620,31
14	10	7.144,25	0,88	-934,67	6.267,49	29.953,14
15						
16						
17						
18					Valores Econômicos	
19					Geração de biogás equivalente a:	7.144,25 kWh/ano
20					Payback:	4 anos
21					Valor Presente Líquido (VPL):	R\$ 13.181,23
22					Taxa Interna de Retorno (TIR):	24,80 %
23					Taxa Interna de Retorno (TIR) (Conservadora):	11,15 %
24					Taxa Interna de Retorno (TIR) (Pessimista):	22,30 %
25						
26						
27						

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Figura 45 - Planilha de análise econômica considerando o poder calorífico igual a 7,92 kWh/m³ da segunda forma de dimensionamento.

Análise Econômica						
Período (Ano)	Geração (kWh/ano)	Tarifa (R\$/kWh)	Custo (R\$)	Retorno Financeiro (R\$)	Fluxo de Caixa (R\$)	
0	8.704,99	0,00	-10.227,99	0,00	-10.227,99	
1	8.704,99	0,48	-511,40	4.178,40	-6.560,99	
2	8.704,99	0,51	-546,84	4.467,96	-2.639,87	
3	8.704,99	0,55	-584,74	4.777,59	1.552,98	
4	8.704,99	0,59	-625,26	5.108,67	6.036,40	
5	8.704,99	0,63	-668,59	5.462,71	10.830,51	
6	8.704,99	0,67	-714,92	5.841,27	15.956,86	
7	8.704,99	0,72	-764,47	6.246,07	21.438,47	
8	8.704,99	0,77	-817,44	6.678,92	27.299,95	
9	8.704,99	0,82	-874,09	7.141,77	33.567,63	
10	8.704,99	0,88	-934,67	7.636,70	40.269,67	
Valores Econômicos						
Geração de biogás equivalente a:					8.704,99 kWh/ano	
Payback:					3 anos	
Valor Presente Líquido (VPL):					R\$ 19.191,55	
Taxa Interna de Retorno (TIR):					35,41 %	
Taxa Interna de Retorno (TIR) (Conservadora):					11,15 %	
Taxa Interna de Retorno (TIR) (Pessimista):					22,30 %	

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

5.2 Estudos de Caso

Para validar os resultados gerados pelo *software* desenvolvido, nesta seção são apresentados alguns estudos de caso baseados em projetos reais e registrados na literatura.

Utilizou-se o índice de concordância apresentado na Equação (33) para comparar os valores dos estudos de caso com os dados de saída do *software*:

$$\text{Índice de concordância} = 100 - \left(\left| \frac{X_E - X_S}{X_E} \right| \times 100 \right) [\%] \quad (33)$$

Onde:

X_E : Valor considerado no estudo de caso;

X_S : Valor determinado pelo *software*.

5.2.1 Estudo de Caso 01: IFB – Campus Planaltina

No trabalho desenvolvido por Silva (2009), foi apresentado o dimensionamento de um biodigestor modelo indiano para o Instituto Federal de Brasília (IFB) – Campus Planaltina, localizado na cidade de Planaltina no Distrito Federal. O IFB – Campus Planaltina conta com uma pequena criação de suínos em fase de terminação, na qual os animais são alimentados até atingirem o peso de mercado. A criação possui 150 suínos com peso entre 25 kg a 100 kg.

A implantação do biodigestor no IFB – Campus Planaltina tem como intuito produzir o biogás, a partir do reaproveitamento dos resíduos orgânicos gerados pela criação de suínos, para ser utilizado como combustível em diversos equipamentos do local como um conjunto moto-bomba, fogão, chuveiro, conjunto motor gerador e em escamoteadores, que constituem um sistema de aquecimento para leitões. Assim, para dimensionar o biodigestor indiano com o auxílio do *software* BioProgram, considerou-se a primeira forma de dimensionamento.

Em sua dissertação, Silva (2009) considera o tempo de retenção igual a 35 dias e o valor do diâmetro interno do biodigestor equivalente a 3,7 metros. Com relação a análise financeira, Silva (2009) não realiza em seu estudo, sendo determinadas apenas as dimensões estruturais do sistema de biodigestão.

Dessa forma, para realizar o dimensionamento do biodigestor com o uso do programa, na interface entrada de dados, a variável de entrada econômica “Consumo médio de energia” é considerada igual a zero, isso porque o objetivo da implantação do biodigestor é a produção do biogás para o seu consumo direto nos equipamentos; o dado “Valor da tarifa energética” é igual 0,49 R\$/kWh, sendo a atual tarifa cobrada ao consumidor rural pela CEB (Companhia Energética de Brasília), que é a concessionária responsável pelo fornecimento de energia na região (CEB, 2018); a variável “Taxa média da inflação” é equivalente a 4,53% e o valor da “Taxa SELIC” é 6,5%, sendo os valores médios dos últimos doze meses fornecimentos pelo Banco Central do Brasil (BCB, 2018). Além disso, não será solicitado o dimensionamento do conjunto motor gerador.

A Figura 46 mostra os dados de entrada fornecidos ao programa para o dimensionamento do biodigestor indiano para este estudo de caso.

Figura 46 - Dados de entrada do programa para o estudo de caso 01.

Entrada de Dados Bi Program

Dados Técnicos

Tempo de retenção: Dias

Diâmetro interno do biodigestor: Metros
(O valor do diâmetro deve respeitar a relação: $2.0\text{ m} \leq \text{Diâmetro} \leq 6.0\text{ m}$)

Animais

Tipo de criação	Quantidade
<input type="checkbox"/> Vaca leiteira	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Bovino de corte	<input type="text"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Suíno de 25 kg a 100 kg	<input type="text" value="150"/>
<input type="checkbox"/> Cachaço	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Porca em gestação	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Leitão na creche	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Caprino	<input type="text"/>

Dados Econômicos

Consumo médio de energia: kWh/mês

Valor da tarifa energética: R\$/kWh

Taxa média da inflação: %

Taxa SELIC: %

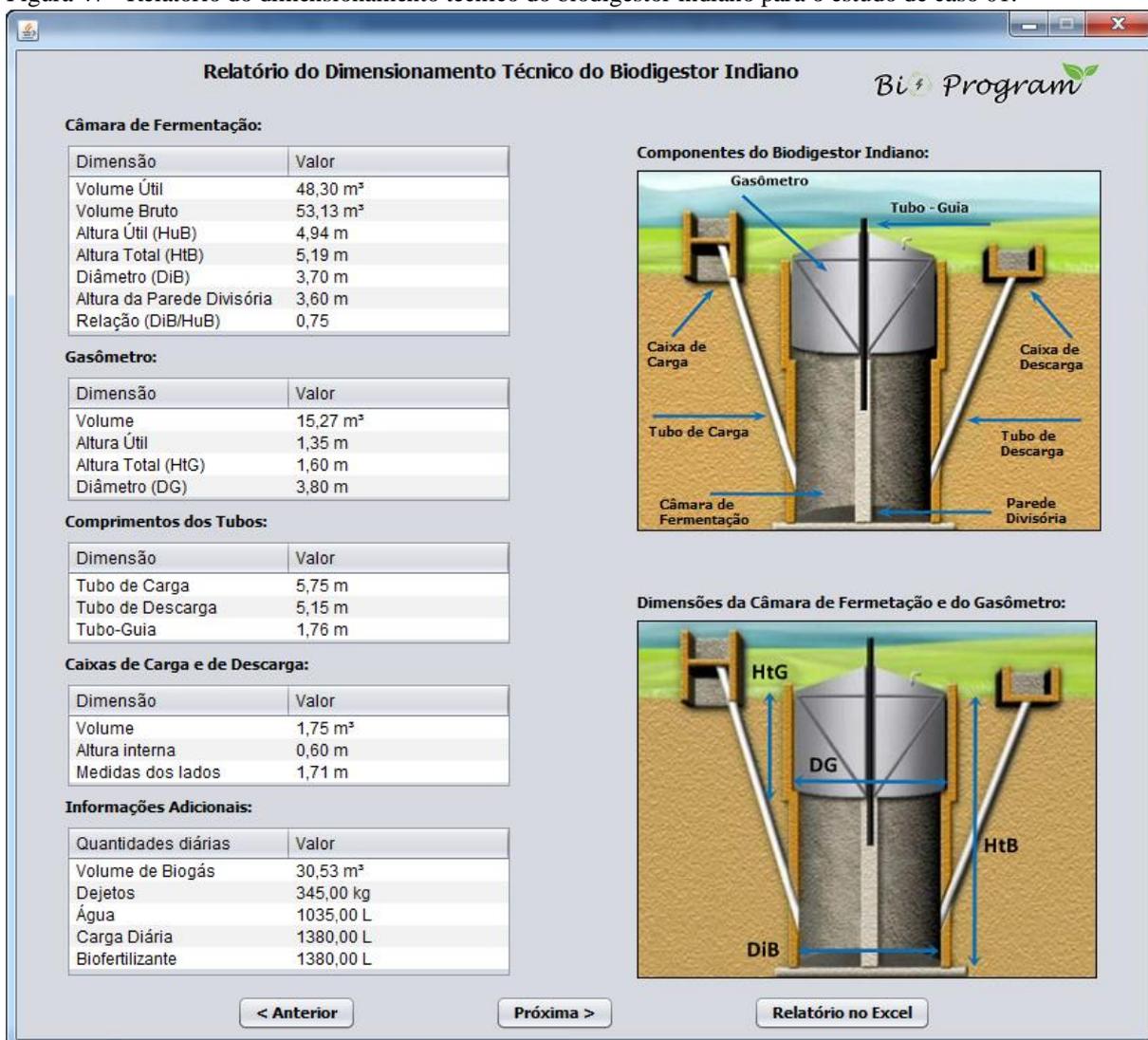
Deseja realizar o dimensionamento do conjunto motor gerador a biogás?

Sim Não

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

O relatório do dimensionamento técnico do biodigestor, a planilha orçamentária e o relatório financeiro, disponibilizados nas interfaces de saída do *software*, são apresentados nas Figuras 47, 48 e 49, respectivamente.

Figura 47 - Relatório do dimensionamento técnico do biodigestor indiano para o estudo de caso 01.



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Figura 48 - Planilha orçamentária para o estudo de caso 01.

Produto ou Serviço	Unidade	Quantidade	Preço (R\$)	Valor Total (R\$)
Chapa de aço galvanizada GSG 14	kg	481,00	7,12	3.431,45
Tijolos	un	12.875,00	0,26	3.347,50
Cimento	50kg	84,00	17,90	1.507,18
Vergalhão (3/8 pol)	kg	154,00	4,44	688,12
Vergalhão (5 mm)	kg	69,00	4,40	306,17
Areia Média	m³	5,82	61,67	358,94
Areia Fina	m³	3,92	65,38	256,37
Pedra Britada 2	m³	3,22	58,75	189,31
Pedra Britada 1	m³	1,07	58,75	63,10
Tubo PVC (150 mm)	m	11,00	19,16	210,79
Tubo de aço galvanizado (3 pol)	m	1,61	72,79	117,34
Tubo de aço galvanizado (2 1/2 pol)	m	1,77	54,09	95,91
Tubo de aço galvanizado (3/4 pol)	m	0,10	13,96	1,41
Impermeabilizante	kg	12,00	4,35	53,22
Arame	kg	4,00	9,10	36,40
Saibro	m²	0,79	54,68	43,00
Tábua (25 x 30 cm)	m	1,09	14,89	16,17
Sarrafo (2,5 x 7,0 cm)	m	2,02	4,48	9,06
Prego com cabeça dupla (17x27)	kg	0,75	10,83	8,11
Prego com cabeça (17x21)	kg	0,11	8,78	0,99
Desmoldante	L	0,37	5,19	1,94
Retroescavadeira	h	2,59	36,741	95,12
Compactador de placa vibratória	h	3,59	3,2524	11,67
SUBTOTAL DOS MATERIAIS				R\$ 10.849,29
Pedreiro	h	329,00	14,00	4.606,00
Servente	h	423,00	9,15	3.870,45
Operador da Retroescavadeira	h	2,59	15,89	41,14
SUBTOTAL DA MÃO DE OBRA				R\$ 8.517,59
CUSTOS ADICIONAIS				R\$ 1.936,69
			TOTAL	R\$ 21.303,56

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Figura 49 - Relatório financeiro do projeto para o estudo de caso 01.

Relatório Financeiro do Projeto Bi Program

Análise Econômica considerando o poder calorífico igual a 4,95 kWh/m³:

Grandeza	Valor
Valor Total do Projeto	R\$21.303,56
Geração de biogás equivalente a	13.601,55 kWh/ano
Payback	4 anos
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$29.074,18
Taxa Interna de Retorno (TIR)	18,48 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Conservadora)	6,50 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Pessimista)	13,00 %

Análise Econômica considerando o poder calorífico igual a 6,5 kWh/m³:

Grandeza	Valor
Valor Total do Projeto	R\$21.303,56
Geração de biogás equivalente a	17.860,62 kWh/ano
Payback	3 anos
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$47.849,79
Taxa Interna de Retorno (TIR)	33,21 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Conservadora)	6,50 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Pessimista)	13,00 %

Análise Econômica considerando o poder calorífico igual a 7,92 kWh/m³:

Grandeza	Valor
Valor Total do Projeto	R\$21.303,56
Geração de biogás equivalente a	21.762,48 kWh/ano
Payback	3 anos
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$65.050,67
Taxa Interna de Retorno (TIR)	44,71 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Conservadora)	6,50 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Pessimista)	13,00 %

< Anterior Relatório no Excel

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

A Tabela 10 apresenta o comparativo entre os dados do dimensionamento realizado por Silva (2009) e os dados do dimensionamento técnico gerados pelo *software*.

Tabela 10 - Comparativo entre os resultados dos dimensionamentos realizados por Silva (2009) e pelo *software*.

Variáveis	SILVA, 2009	BioProgram	Índice de concordância (%)
Volume útil da câmara de fermentação (m ³)	48,30	48,30	100
Volume bruto da câmara de fermentação (m ³)	53,13	53,13	100
Diâmetro interno do biodigestor (m)	3,70	3,70	100
Altura útil da câmara de fermentação (m)	4,94	4,94	100
Altura da parede divisória (m)	3,73	3,60	96,51
Relação (Di_B/Hu_B)	0,75	0,75	100
Diâmetro do gasômetro (m)	3,80	3,80	100
Volume do gasômetro (m ³)	13,685	15,27	89,62
Altura útil do gasômetro (m)	1,21	1,35	89,63
Volume das caixas (m ³)	0,36	1,75	20,57
Altura das caixas (m)	0,50	0,60	83,33
Medida dos lados das caixas (m)	0,85	1,71	49,71
Volume de biogás (m ³)	110,4	30,53	27,65
Dejetos (kg)	345	345	100
Água (L)	1035	1035	100
Carga diária (L)	1380	1380	100

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Observa-se na Tabela 10, que o valor do volume das caixas apresenta uma grande diferença entre os dimensionamentos. Isso ocorre porque, em seu trabalho, Silva (2009) considera que as caixas de carga e de descarga devem possuir as dimensões equivalentes a 1/4 do volume diário de dejetos, de modo que o abastecimento do biodigestor seja realizado quatro vezes ao dia, para corresponder ao volume diário de carga. Assim, conseqüentemente, a medida dos lados das caixas também apresenta um valor diferente.

Além disso, o volume de biogás apresenta uma diferença de aproximadamente 72%. Na Seção 3.1.3, a Tabela 8 mostra que para produzir 1 m³ de biogás são necessários 11,3 kg de dejetos suínos, entretanto, Silva (2009) considera em seu dimensionamento que seja preciso 3,125 kg de dejetos suínos. Logo, essas considerações interferem no valor do volume de biogás.

Apesar dessas diferenças, os índices de concordância para as outras dimensões, presentes na Tabela 10, mostram-se acima de 80%, sendo a maioria 100%, validando, assim, os resultados do programa.

Algumas dimensões do biodigestor não são tratadas por Silva (2009) em seu estudo, como a altura total da câmara de fermentação, a altura total do gasômetro, os comprimentos dos tubos de carga, de descarga e do tubo-guia, além dos insumos gastos na construção.

Observa-se nas análises econômicas do relatório financeiro apresentado na Figura 49, que o valor do VPL foi positivo, o valor da TIR foi superior aos valores da TMA Conservadora e da TMA Pessimista e, além disso, o valor do *payback* foi menor que o período de análise do investimento, que é de 10 anos. Assim, com base nesses resultados, pode-se considerar que a implantação do biodigestor indiano mostra-se viável para este estudo de caso.

5.2.2 Estudo de Caso 02: Fazenda em Campo Belo - MG

Em um estudo realizado por Figueiredo (2017), foi dimensionado um biodigestor indiano para uma fazenda localizada no município de Campo Belo, no estado de Minas Gerais, a qual possui uma criação de bovinos com 50 bois de corte e 50 vacas leiteiras.

O consumo de energia elétrica da fazenda, no período de fevereiro de 2016 até fevereiro de 2017, é apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 - Consumo de energia elétrica da fazenda do estudo realizado por Figueiredo (2017).

Mês/Ano	Consumo (kWh)
Fevereiro/2016	3.454
Março/2016	5.010
Abril/2016	3.381
Maió/2016	3.570
Junho/2016	3.505
Julho/2016	3.665
Agosto/2016	3.382
Setembro/2016	5.428
Outubro/2016	3.835
Novembro/2016	3.874
Dezembro/2016	3.920
Janeiro/2017	3.913
Fevereiro/2017	3.950

Fonte: Adaptada de Figueiredo (2017).

Com base nos dados da Tabela 11, o consumo médio de energia da fazenda é de aproximadamente 3.920 kWh/mês.

Para dimensionar o biodigestor, Figueiredo (2017) considera o diâmetro interno igual a 5,5 metros e o tempo de retenção de 30 dias. Além disso, para a análise de viabilidade econômica, Figueiredo (2017) emprega o valor da tarifa energética igual a 0,48 R\$/kWh, o valor da taxa média da inflação igual a 6,93 % e o valor da taxa SELIC equivalente a 11,15 %.

Como o objetivo da implantação do biodigestor indiano na fazenda é a economia de energia elétrica por meio do biogás produzido pela biodigestão do esterco bovino, Figueiredo (2017) considera em seu estudo o investimento em um conjunto motor gerador.

De posse dessas informações, realizou-se o dimensionamento do biodigestor indiano com o auxílio do *software* BioProgram, utilizando a primeira forma de dimensionamento. A Figura 50 apresenta os dados de entrada fornecidos ao programa.

Figura 50 - Dados de entrada do programa para o estudo de caso 02.

Entrada de Dados Bi Program

Dados Técnicos

Tempo de retenção: Dias

Diâmetro interno do biodigestor: Metros

(O valor do diâmetro deve respeitar a relação: $2.0\text{ m} \leq \text{Diâmetro} \leq 6.0\text{ m}$)

Animais

Tipo de criação	Quantidade
<input checked="" type="checkbox"/> Vaca leiteira	<input type="text" value="50"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Bovino de corte	<input type="text" value="50"/>
<input type="checkbox"/> Suíno de 25 kg a 100 kg	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Cachaço	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Porca em gestação	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Leitão na creche	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Caprino	<input type="text"/>

Dados Econômicos

Consumo médio de energia: kWh/mês

Valor da tarifa energética: R\$/kWh

Taxa média da inflação: %

Taxa SELIC: %

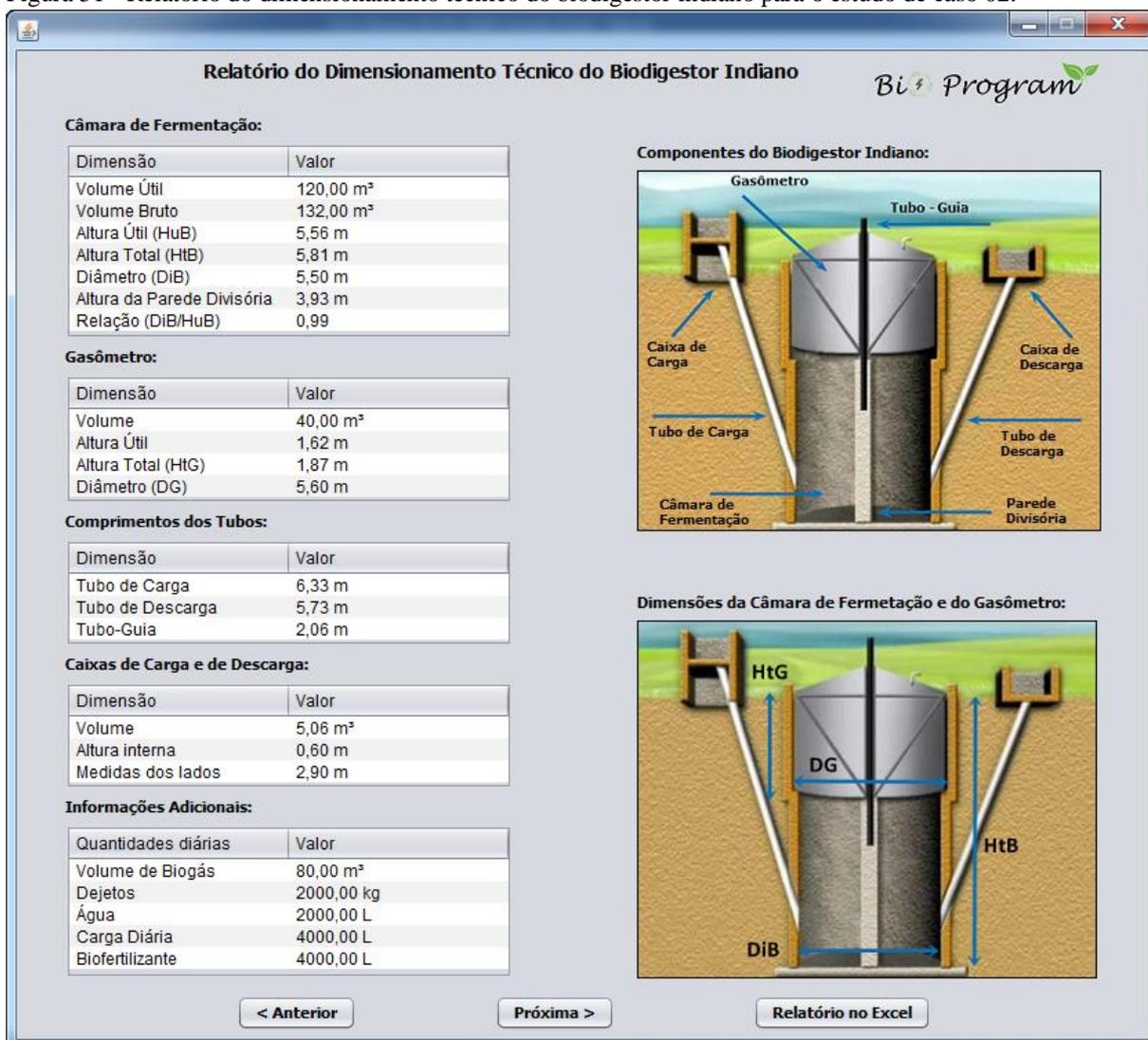
Deseja realizar o dimensionamento do conjunto motor gerador a biogás?

Sim Não

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

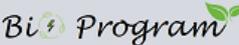
As interfaces de saída do *software* são apresentadas nas Figuras 51, 52 e 53.

Figura 51 - Relatório do dimensionamento técnico do biodigestor indiano para o estudo de caso 02.



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

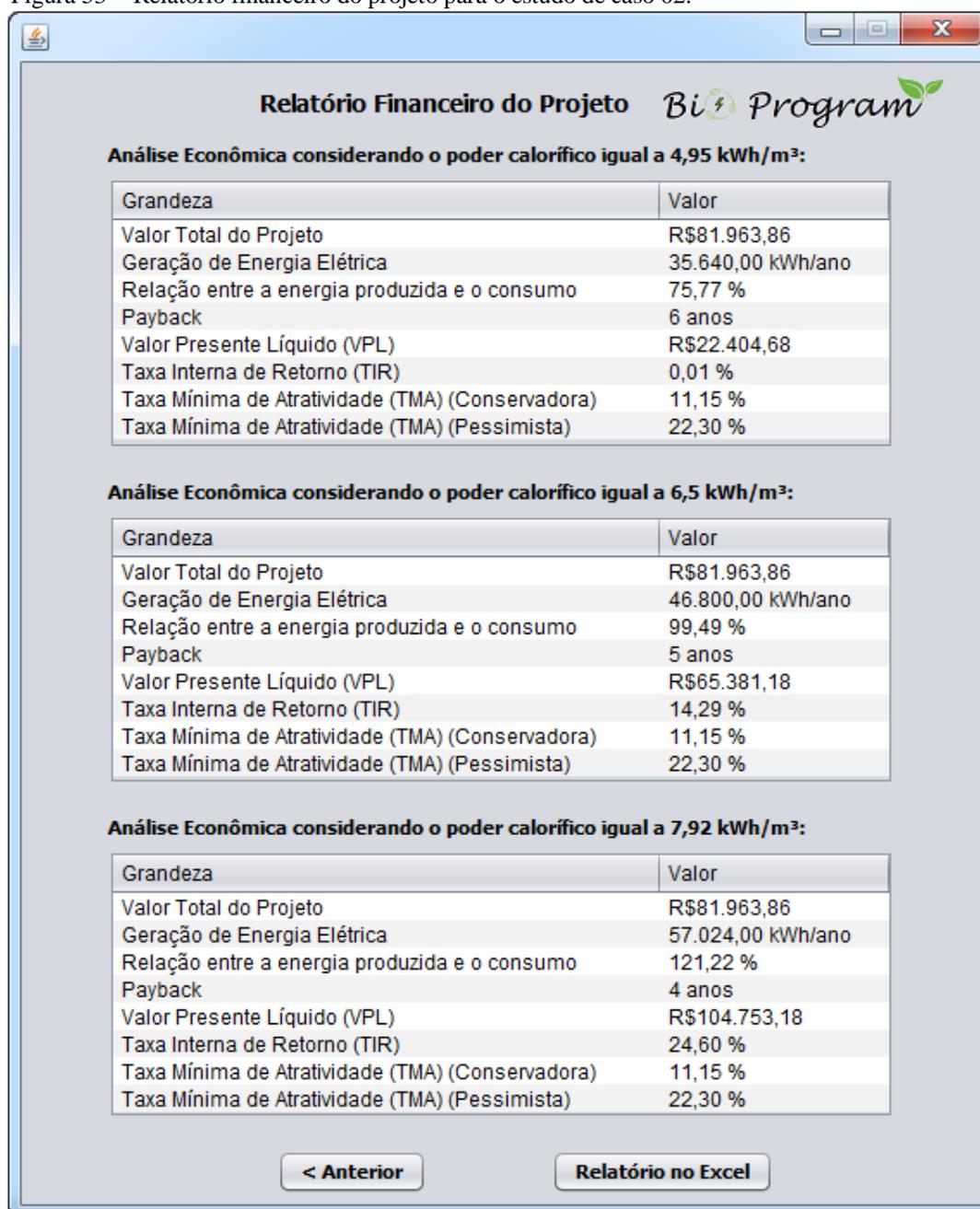
Figura 52 - Planilha orçamentária para o estudo de caso 02.

Planilha Orçamentária do Projeto 

Produto ou Serviço	Unidade	Quantidade	Preço (R\$)	Valor Total (R\$)
Chapa de aço galvanizada GSG 14	kg	915,00	7,12	6.518,17
Tijolos	un	21.799,00	0,26	5.667,74
Cimento	50kg	140,00	17,90	2.514,23
Vergalhão (3/8 pol)	kg	290,00	4,44	1.291,52
Vergalhão (5 mm)	kg	130,00	4,40	574,64
Areia Média	m³	9,56	61,67	589,71
Areia Fina	m³	6,61	65,38	432,47
Pedra Britada 2	m³	5,24	58,75	307,80
Pedra Britada 1	m³	1,75	58,75	102,60
Tubo PVC (150 mm)	m	12,19	19,16	233,52
Tubo de aço galvanizado (3 pol)	m	1,89	72,79	137,77
Tubo de aço galvanizado (2 1/2 pol)	m	2,08	54,09	112,62
Tubo de aço galvanizado (3/4 pol)	m	0,10	13,96	1,41
Impermeabilizante	kg	20,00	4,35	90,97
Arame	kg	8,00	9,10	72,80
Saibro	m²	1,33	54,68	72,54
Tábua (25 x 30 cm)	m	1,18	14,89	17,63
Sarrafo (2,5 x 7,0 cm)	m	2,20	4,48	9,87
Prego com cabeça dupla (17x27)	kg	0,82	10,83	8,84
Prego com cabeça (17x21)	kg	0,12	8,78	1,08
Desmoldante	L	0,41	5,19	2,12
Retroescavadeira	h	5,39	36,741	198,11
Compactador de placa vibratória	h	6,55	3,2524	21,30
SUBTOTAL DOS MATERIAIS				R\$ 18.979,48
Pedreiro	h	562,00	14,00	7.868,00
Servente	h	729,00	9,15	6.670,35
Operador da Retroescavadeira	h	5,39	15,89	85,68
SUBTOTAL DA MÃO DE OBRA				R\$ 14.624,03
CUSTOS ADICIONAIS				R\$ 3.360,35
Conjunto Motor Gerador	30.0kVA	1	45.000,00	R\$ 45.000,00
TOTAL				R\$ 81.963,86

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Figura 53 - Relatório financeiro do projeto para o estudo de caso 02.



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

A Tabela 12 apresenta o comparativo entre os dados do dimensionamento realizado por Figueiredo (2017) e os dados do relatório do dimensionamento técnico gerados pelo *software*.

Tabela 12 - Comparativo entre os resultados dos dimensionamentos técnicos realizados por Figueiredo (2017) e pelo *software*.

Variáveis	FIGUEIREDO, 2017	BioProgram	Índice de concordância (%)
Volume útil da câmara de fermentação (m ³)	120	120	100
Volume bruto da câmara de fermentação (m ³)	132	132	100
Altura útil da câmara de fermentação (m)	5,56	5,56	100
Altura total da câmara de fermentação (m)	5,81	5,81	100
Diâmetro interno do biodigestor (m)	5,50	5,50	100
Altura da parede divisória (m)	3,94	3,93	99,75
Relação (Di_B/Hu_B)	0,99	0,99	100
Volume do gasômetro (m ³)	40	40	100
Altura útil do gasômetro (m)	1,62	1,62	100
Altura total do gasômetro (m)	1,87	1,87	100
Diâmetro do gasômetro (m)	5,60	5,60	100
Comprimento do tubo de carga (m)	6,34	6,33	99,84
Comprimento do tubo de descarga (m)	5,74	5,73	99,83
Comprimento do tubo-guia (m)	2,06	2,06	100
Volume das caixas (m ³)	5,06	5,06	100
Altura das caixas (m)	0,60	0,60	100
Medida dos lados das caixas (m)	2,90	2,90	100
Volume de biogás (m ³)	80	80	100
Dejetos (kg)	2.000	2.000	100
Água (L)	2.000	2.000	100
Carga diária (L)	4.000	4.000	100
Biofertilizante (L)	4.000	4.000	100

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Com base na Tabela 12, observa-se que os dados gerados pelo *software* apresentam o índice de concordância acima de 90% com os dados do dimensionamento realizado por Figueiredo (2017), sendo a maioria equivalente a 100%. As diferenças nas variáveis “Altura da parede divisória”, “Comprimento do tubo de carga” e “Comprimento do tubo de descarga” devem-se aos arredondamentos realizados nos cálculos por Figueiredo (2017).

Com relação aos resultados do relatório financeiro apresentado na Figura 53, serão analisados os dados referentes à análise econômica para o poder calorífico de 6,5 kWh/m³, pois este foi o valor do poder calorífico adotado por Figueiredo (2017).

A Tabela 13 apresenta um comparativo entre esses dados.

Tabela 13 - Comparativo entre os resultados das análises financeiras realizadas por Figueiredo (2017) e pelo *software*, para o poder calorífico igual a 6,5 kWh/m³.

Variáveis	FIGUEIREDO, 2017	BioProgram	Índice de concordância
Valor total do projeto	R\$ 69.663,88	R\$ 81.963,86	84,99 %
Geração de energia elétrica	46.800 kWh/ano	46.800 kWh/ano	100 %
Relação entre a energia produzida e o consumo	99,49 %	99,49 %	100 %
<i>Payback</i>	4 anos	5 anos	80 %
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 5.630,74	R\$ 65.381,18	8,61 %
Taxa Interna de Retorno (TIR)	24 %	14,29 %	59,54 %

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

De acordo com os dados da Tabela 13, pode-se considerar que a implantação do biodigestor indiano é viável, pois o valor do VPL apresenta-se positivo, o *payback* é menor que o tempo de análise de 10 anos, o valor da TIR é superior que o TMA Conservador e, além disso, a quantidade de energia elétrica gerada irá amortizar 99,49 % do consumo de energia da propriedade. Entretanto, nota-se que as variáveis “Valor total do projeto”, “*Payback*”, “Valor Presente Líquido” e “Taxa Interna de Retorno” apresentam um baixo índice de concordância. Isso deve-se às diferenças nos cálculos dos insumos, do gasto com manutenção e, também, no custo do investimento do conjunto motor gerador, considerados neste trabalho e no estudo de Figueiredo (2017).

A Tabela 14 mostra o orçamento realizado por Figueiredo (2017) para a construção do biodigestor em seu estudo.

Tabela 14 – Orçamento realizado por Figueiredo (2017) em seu estudo, para a construção do biodigestor indiano.

Material	Unidade	Quantidade	Preço (R\$)	Total (R\$)
Tijolos	Milheiro	6	250,00	1.500,00
Cimento	Saca	50	30,00	1.500,00
Areia fina	m ³	5	113,70	568,50
Areia grossa	m ³	3	81,50	244,50
Brita número 2	m ³	5	78,20	391,00
Vergalhão 3/8 polegadas	m	12	25,60	25,60
Vergalhão de 5 mm	m	24	17,80	17,80
Tubo de ferro galvanizado de 2,5 polegadas	m	4	55,00	220,00
Tubo de PVC de 50 mm	Barra	4	34,00	136,00
Tubo de PVC de 150 mm	Barra	4	119,90	479,60
Mangueira flexível	m	6	41,30	247,80
Gasômetro	Peça	1	5.000,00	5.000,00
				10.330,80
Mão de obra	Dias	6	500,00	3.000,00
Total				R\$13.330,80

Fonte: Adaptada de Figueiredo (2017).

Ao comparar os insumos presentes na planilha orçamentária da Figura 52 fornecida pelo programa, com o orçamento da Tabela 14 realizado por Figueiredo (2017), percebe-se a diferença com relação aos tipos, quantidades e preços dos materiais, equipamentos e mão de obra, considerados nos dimensionamentos.

Além disso, para Figueiredo (2017), o custo das manutenções periódicas equivale a 4% do investimento, enquanto o presente trabalho considera 5%, como discutido na Seção 4.5.4.

Quanto ao preço do conjunto motor gerador, no presente trabalho o preço baseia-se na potência do conjunto, sendo considerado o valor de R\$ 1.500,00 por kVA. Já Figueiredo (2017) considera o preço de R\$ 50.000,00 para o conjunto motor gerador com potência de 37,5 kVA.

Apesar das diferenças encontradas, é possível analisar proporcionalmente que os valores do dimensionamento técnico e do relatório financeiro estão em concordância, garantindo a veracidade dos resultados gerados pelo *software* BioProgram.

5.2.3 Estudo de Caso 03: Abordagem do Estudo de Caso 02 para outro público alvo

Como foi apresentado na Seção 4.2.1, o programa tem por finalidade contemplar três públicos distintos com a primeira forma de dimensionamento. Na Seção 5.2.1, abordou-se o público em que o objetivo da implantação do biodigestor é produzir o biogás para o consumo direto nos equipamentos. Já a Seção 5.2.2, tratou-se do público cujo o intuito é a geração de energia elétrica por meio da conversão do biogás, sendo solicitado o dimensionamento do conjunto motor gerador.

Assim, nesta seção será analisada a situação em que deseja-se realizar a implantação do biodigestor para a geração de energia elétrica, porém, não será requerido o dimensionamento do conjunto motor gerador. Para isso, será considerado o estudo realizado por Figueiredo (2017), tratado na seção anterior.

A Figura 54 apresenta os dados de entrada do programa para este estudo de caso.

Figura 54 - Dados de entrada do programa para o estudo de caso 03.

Entrada de Dados Bio Program

Dados Técnicos

Tempo de retenção: Dias

Diâmetro interno do biodigestor: Metros

(O valor do diâmetro deve respeitar a relação: $2.0\text{ m} \leq \text{Diâmetro} \leq 6.0\text{ m}$)

Animais

Tipo de criação	Quantidade
<input checked="" type="checkbox"/> Vaca leiteira	<input type="text" value="50"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Bovino de corte	<input type="text" value="50"/>
<input type="checkbox"/> Suíno de 25 kg a 100 kg	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Cachaço	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Porca em gestação	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Leitão na creche	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Caprino	<input type="text"/>

Dados Econômicos

Consumo médio de energia: kWh/mês

Valor da tarifa energética: R\$/kWh

Taxa média da inflação: %

Taxa SELIC: %

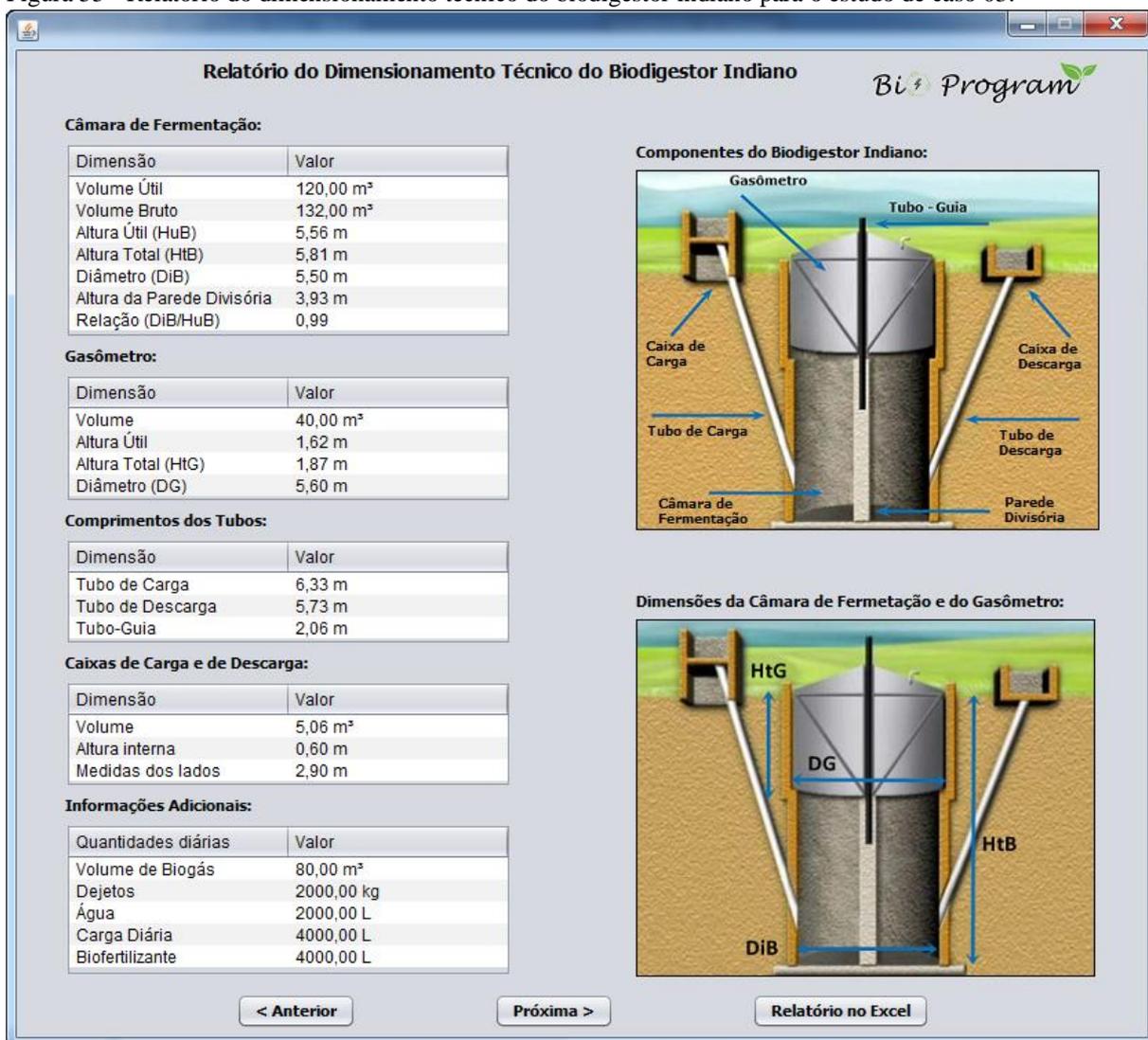
Deseja realizar o dimensionamento do conjunto motor gerador a biogás?

Sim Não

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

As Figuras 55, 56 e 57, mostram as interfaces de saída disponibilizadas pelo *software* para este dimensionamento.

Figura 55 - Relatório do dimensionamento técnico do biodigestor indiano para o estudo de caso 03.



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Figura 56 - Planilha orçamentária para o estudo de caso 03.

Planilha Orçamentária do Projeto				
Produto ou Serviço	Unidade	Quantidade	Preço (R\$)	Valor Total (R\$)
Chapa de aço galvanizada GSG 14	kg	915,00	7,12	6.518,17
Tijolos	un	21.799,00	0,26	5.667,74
Cimento	50kg	140,00	17,90	2.514,23
Vergalhão (3/8 pol)	kg	290,00	4,44	1.291,52
Vergalhão (5 mm)	kg	130,00	4,40	574,64
Areia Média	m³	9,56	61,67	589,71
Areia Fina	m³	6,61	65,38	432,47
Pedra Britada 2	m³	5,24	58,75	307,80
Pedra Britada 1	m³	1,75	58,75	102,60
Tubo PVC (150 mm)	m	12,19	19,16	233,52
Tubo de aço galvanizado (3 pol)	m	1,89	72,79	137,77
Tubo de aço galvanizado (2 1/2 pol)	m	2,08	54,09	112,62
Tubo de aço galvanizado (3/4 pol)	m	0,10	13,96	1,41
Impermeabilizante	kg	20,00	4,35	90,97
Arame	kg	8,00	9,10	72,80
Saibro	m²	1,33	54,68	72,54
Tábua (25 x 30 cm)	m	1,18	14,89	17,63
Sarrafo (2,5 x 7,0 cm)	m	2,20	4,48	9,87
Prego com cabeça dupla (17x27)	kg	0,82	10,83	8,84
Prego com cabeça (17x21)	kg	0,12	8,78	1,08
Desmoldante	L	0,41	5,19	2,12
Retroescavadeira	h	5,39	36,741	198,11
Compactador de placa vibratória	h	6,55	3,2524	21,30
SUBTOTAL DOS MATERIAIS				R\$ 18.979,48
Pedreiro	h	562,00	14,00	7.868,00
Servente	h	729,00	9,15	6.670,35
Operador da Retroescavadeira	h	5,39	15,89	85,68
SUBTOTAL DA MÃO DE OBRA				R\$ 14.624,03
CUSTOS ADICIONAIS				R\$ 3.360,35
TOTAL				R\$ 36.963,86

Bi Program

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Figura 57 - Relatório financeiro do projeto para o estudo de caso 03.

Relatório Financeiro do Projeto *Bi Program*

Análise Econômica considerando o poder calorífico igual a 4,95 kWh/m³:

Grandeza	Valor
Valor Total do Projeto	R\$36.963,86
Geração de Energia Elétrica	35.640,00 kWh/ano
Relação entre a energia produzida e o consumo	75,77 %
Payback	3 anos
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$85.455,96
Taxa Interna de Retorno (TIR)	42,49 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Conservadora)	11,15 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Pessimista)	22,30 %

Análise Econômica considerando o poder calorífico igual a 6,5 kWh/m³:

Grandeza	Valor
Valor Total do Projeto	R\$36.963,86
Geração de Energia Elétrica	46.800,00 kWh/ano
Relação entre a energia produzida e o consumo	99,49 %
Payback	2 anos
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$128.432,46
Taxa Interna de Retorno (TIR)	59,64 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Conservadora)	11,15 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Pessimista)	22,30 %

Análise Econômica considerando o poder calorífico igual a 7,92 kWh/m³:

Grandeza	Valor
Valor Total do Projeto	R\$36.963,86
Geração de Energia Elétrica	57.024,00 kWh/ano
Relação entre a energia produzida e o consumo	121,22 %
Payback	2 anos
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$167.804,47
Taxa Interna de Retorno (TIR)	74,18 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Conservadora)	11,15 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Pessimista)	22,30 %

< Anterior Relatório no Excel

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Ao observar as interfaces fornecidas pelo programa, percebe-se que, com relação ao Estudo de Caso 02, o dimensionamento técnico do biodigestor é o mesmo e a diferença na planilha orçamentária é que neste caso não é realizada a aquisição do conjunto motor gerador.

No que diz respeito à análise financeira do projeto, ao comparar o relatório financeiro deste estudo de caso, presente na Figura 57, com o relatório financeiro do Estudo de Caso 02, apresentado na Figura 53, observa-se que o valor total do investimento é menor. Assim, consequentemente, o tempo de retorno do investimento é menor e os valores do VPL e da TIR são maiores.

Dessa forma, conclui-se que investir na implantação do biodigestor indiano para gerar energia elétrica em uma propriedade que já possui o conjunto motor gerador é ainda mais viável.

5.2.4 Estudo de Caso 04: Produtor de suínos

No trabalho desenvolvido por Lucas Júnior et al. (2009) é apresentado um exemplo de dimensionamento de um biodigestor indiano para um produtor de suínos, que deseja utilizar o biogás para abastecer alguns equipamentos da propriedade.

A Tabela 15 mostra a relação de quais e quantos equipamentos serão alimentados com o biogás, bem como, o número de horas que cada um irá funcionar.

Tabela 15 - Relação dos equipamentos utilizados no exemplo tratado por Lucas Júnior et al. (2009).

Equipamentos	Quantidade	Horas de funcionamento/dia
Fogão	1	-
Chuveiro	1	-
Conjunto moto-bomba de 2,5 hp	1	6
Lampião	6	4

Fonte: Adaptada de Lucas Júnior et al. (2009).

Além disso, é informado que na propriedade existem seis pessoas onde cada uma toma um banho por dia.

Para realizar o dimensionamento, Lucas Júnior et al. (2009) considera o tempo de retenção igual a 30 dias e o diâmetro interno do biodigestor equivalente a 2,3 metros. Em seu estudo, Lucas Júnior et al. (2009) não realiza a análise econômica do projeto, apenas determina as dimensões da estrutura do biodigestor indiano.

Como o objetivo da implantação do biodigestor é gerar a quantidade necessária de biogás para suprir o consumo dos equipamentos da propriedade, o dimensionamento do biodigestor para este estudo de caso será realizado considerando a segunda forma de dimensionamento abordada pelo *software*.

Para a variável de entrada “Valor da tarifa energética” será considerado o valor de 0,41 R\$/kWh, que corresponde a tarifa atual cobrada ao consumidor rural pela CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) (CEMIG, 2018), considerando a bandeira tarifária verde; a “Taxa média da inflação” será igual a 4,53 % e a “Taxa SELIC” será equivalente a 6,5 %, sendo esses os valores médios dos últimos doze meses fornecidos pelo Banco Central do Brasil (BCB, 2018). Além do mais, como não é informado o tipo de criação de suínos, será adotado que os animais são suínos que apresentam o peso entre 25 kg a 100 kg.

De posse das informações presentes no estudo realizado por Lucas Júnior et al. (2009) e as considerações supracitadas, realiza-se o dimensionamento do biodigestor indiano. A Figura 58 apresenta os dados de entrada fornecidos ao programa.

Figura 58 - Dados de entrada do programa para o estudo de caso 04.

Entrada de Dados Bi Program

Dados Técnicos

Tempo de retenção: Dias

Quantidade de pessoas na propriedade: Pessoas

Diâmetro interno do biodigestor: Metros

(O valor do diâmetro deve respeitar a relação: $2.0\text{ m} \leq \text{Diâmetro} \leq 6.0\text{ m}$)

Tipo de criação de animais

Vaca leiteira Porca em gestação
 Bovino de corte Leitão na creche
 Suíno de 25 kg a 100 kg Caprino
 Cachaço

Fontes de consumo de biogás

Equipamentos	Quantidade	Horas	Potência (HP)
<input checked="" type="checkbox"/> Motor	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="6"/>	<input type="text" value="2.5"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Lâmpião	<input type="text" value="6"/>	<input type="text" value="4"/>	
<input type="checkbox"/> Campânula	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
<input type="checkbox"/> Geladeira	<input type="text"/>		
<input checked="" type="checkbox"/> Fogão	<input type="text" value="1"/>		
<input checked="" type="checkbox"/> Chuveiro	<input type="text" value="1"/>		

Dados Econômicos

Valor da tarifa energética: R\$/kWh

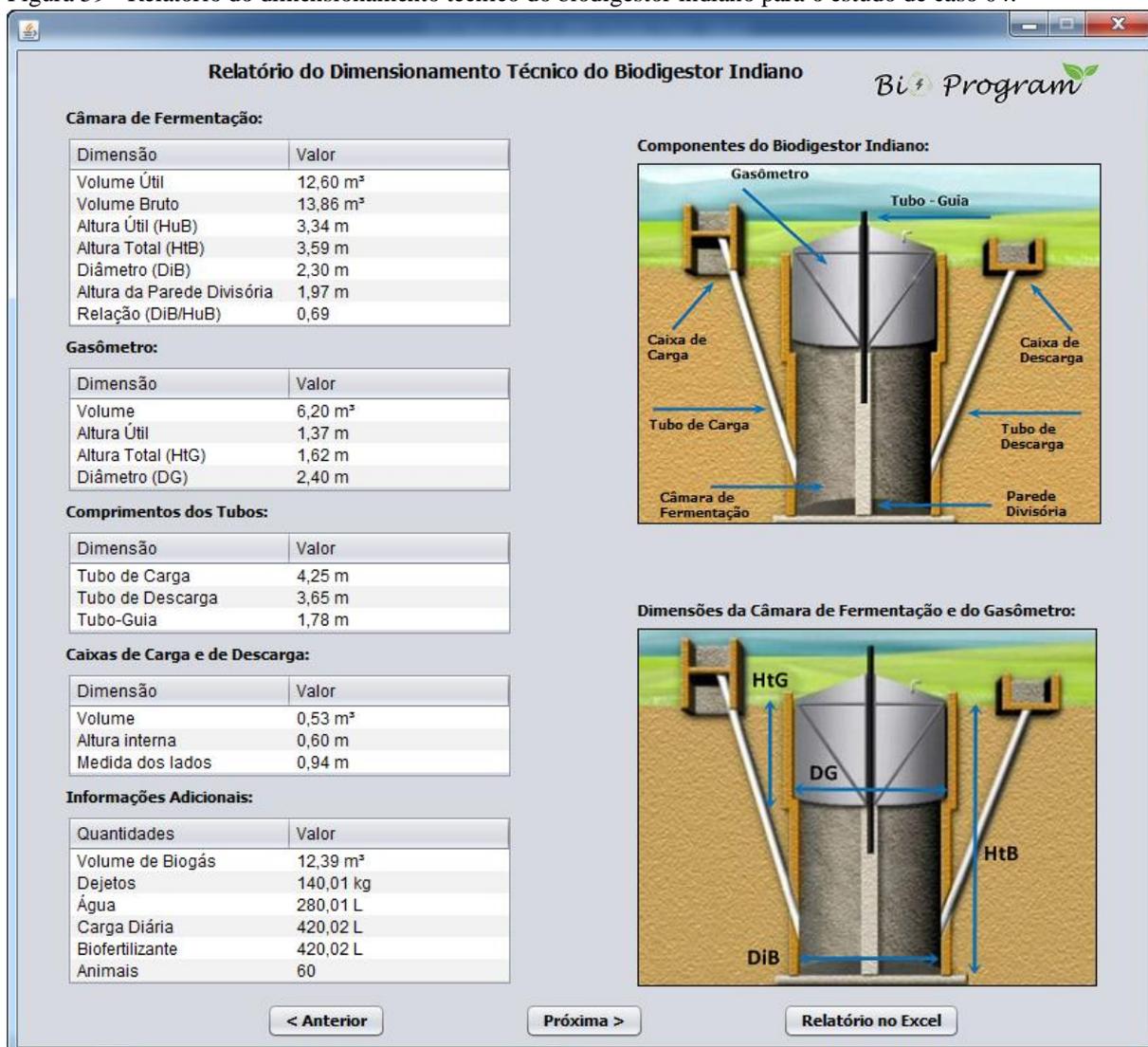
Taxa média da inflação: %

Taxa SELIC: %

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

As interfaces de saída do *software* são apresentadas nas Figuras 59, 60 e 61.

Figura 59 - Relatório do dimensionamento técnico do biodigestor indiano para o estudo de caso 04.



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

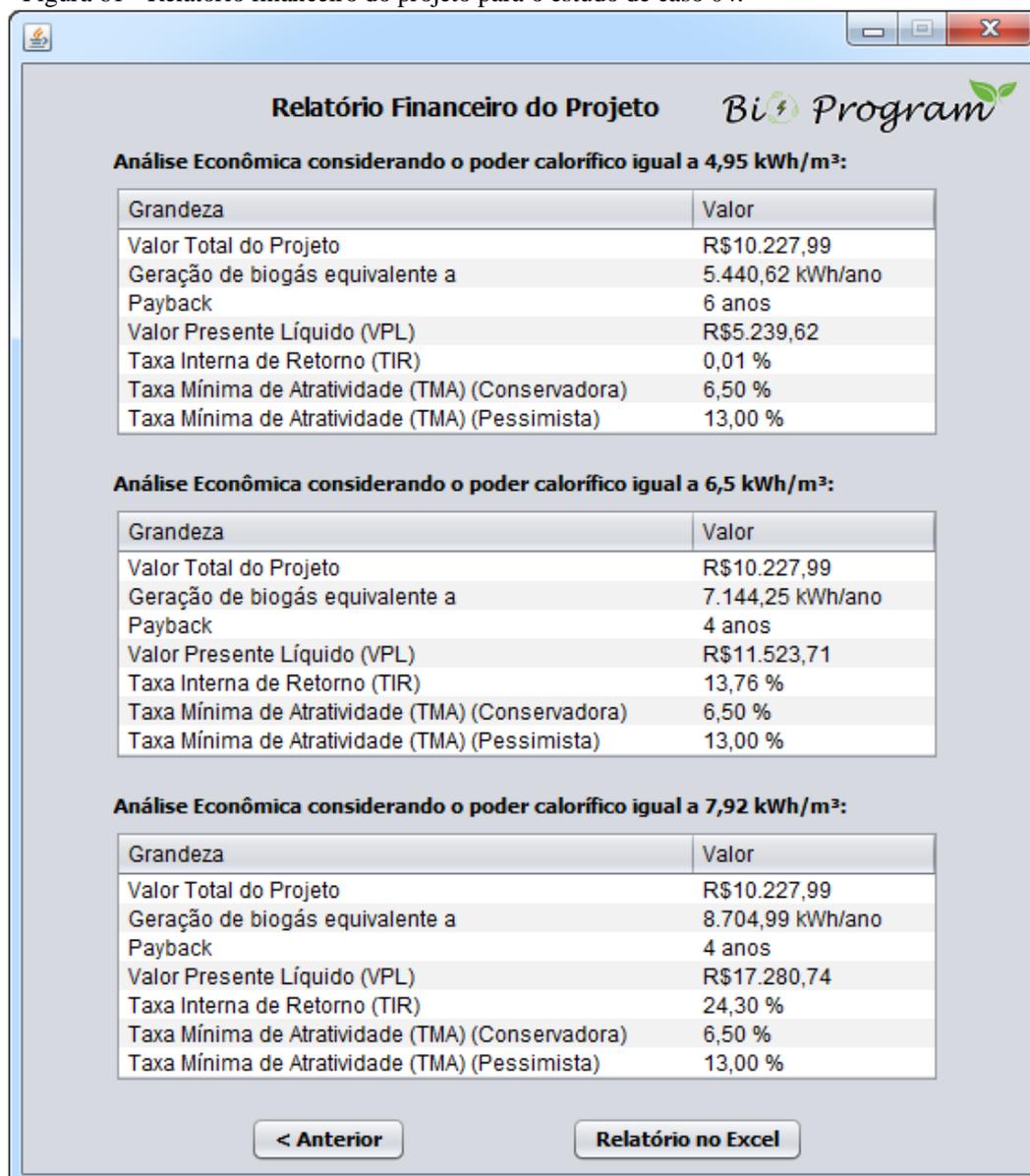
Figura 60 - Planilha orçamentária para o estudo de caso 04.

Planilha Orçamentária do Projeto *Bi Program*

Produto ou Serviço	Unidade	Quantidade	Preço	Valor Total
Chapa de aço galvanizada GSG 14	kg	264,00	7,12	1.880,79
Tijolos	un	5.600,00	0,26	1.456,00
Cimento	50kg	41,00	17,90	748,22
Vergalhão (3/8 pol)	kg	75,00	4,44	334,29
Vergalhão (5 mm)	kg	33,00	4,40	148,74
Areia Média	m³	3,31	61,67	204,01
Areia Fina	m³	1,69	65,38	110,43
Pedra Britada 2	m³	1,93	58,75	113,60
Pedra Britada 1	m³	0,64	58,75	37,87
Tubo PVC (150 mm)	m	7,99	19,16	153,07
Tubo de aço galvanizado (3 pol)	m	1,64	72,79	119,05
Tubo de aço galvanizado (2 1/2 pol)	m	1,80	54,09	97,32
Tubo de aço galvanizado (3/4 pol)	m	0,10	13,96	1,41
Impermeabilizante	kg	5,00	4,35	23,68
Arame	kg	2,00	9,10	18,20
Saibro	m²	0,34	54,68	18,52
Tábua (25 x 30 cm)	m	0,61	14,89	9,14
Sarrafo (2,5 x 7,0 cm)	m	1,14	4,48	5,12
Prego com cabeça dupla (17x27)	kg	0,42	10,83	4,58
Prego com cabeça (17x21)	kg	0,06	8,78	0,56
Desmoldante	L	0,21	5,19	1,10
Retroscavadeira	h	0,93	36,741	34,08
Compactador de placa vibratória	h	1,49	3,2524	4,85
SUBTOTAL DOS MATERIAIS				R\$ 5.524,63
Pedreiro	h	143,00	14,00	2.002,00
Servente	h	192,00	9,15	1.756,80
Operador da Retroscavadeira	h	0,93	15,89	14,74
SUBTOTAL DA MÃO DE OBRA				R\$ 3.773,54
CUSTOS ADICIONAIS				R\$ 929,82
TOTAL				R\$ 10.227,99

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Figura 61 - Relatório financeiro do projeto para o estudo de caso 04.



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Ao analisar o relatório do dimensionamento técnico na Figura 59, nota-se que, sendo considerado que a criação é composta por suínos com o peso entre 25 kg a 100 kg, é necessário que o produtor possua pelo menos 60 animais em seu rebanho para fornecer a carga diária ao biodigestor.

A Tabela 16 apresenta o comparativo entre os dados do dimensionamento realizado por Lucas Júnior et al. (2009) e os dados do dimensionamento técnico gerados pelo *software*, presentes na Figura 59.

Tabela 16 - Comparativo entre os resultados dos dimensionamentos técnicos realizados por Lucas Júnior et al. (2009) e pelo *software*.

Variáveis	LUCAS JÚNIOR et al., 2009	BioProgram	Índice de concordância (%)
Volume útil da câmara de fermentação (m ³)	12,69	12,60	99,29
Volume bruto da câmara de fermentação (m ³)	14	13,86	99
Altura total da câmara de fermentação (m)	3,40	3,59	94,71
Diâmetro interno do biodigestor (m)	2,30	2,30	100
Altura da parede divisória (m)	1,85	1,97	93,91
Volume do gasômetro (m ³)	6,25	6,20	99,20
Altura total do gasômetro (m)	1,55	1,62	95,68
Diâmetro do gasômetro (m)	2,40	2,40	100
Comprimento do tubo-guia (m)	1,71	1,78	96,07
Volume das caixas (m ³)	0,54	0,53	98,15
Altura das caixas (m)	0,60	0,60	100
Medida dos lados das caixas (m)	0,95	0,94	98,95
Volume de biogás (m ³)	12,5	12,39	99,12
Dejetos (kg)	141	140,01	99,30
Água (L)	282	280,01	99,30
Carga diária (L)	423	420,02	99,30

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Observa-se na Tabela 16, diferenças entre os valores das variáveis, entretanto, isso ocorre devido aos arredondamentos realizados por Lucas Júnior et al. (2009) nos cálculos em seu estudo. Apesar disso, os valores dos índices de concordância apresentaram-se maiores que 90%, validando, assim, os resultados do programa.

No que se refere à análise financeira, os dados do relatório financeiro apresentado na Figura 61 mostram que o investimento na implantação do biodigestor pelo produtor rural é viável, considerando os três possíveis cenários econômicos. Pois, os valores do VPL são

positivos, os valores da TIR apresentam-se maiores que o TMA Conservador e o TMA Pessimista, exceto para a análise do poder calorífico igual a 4,95 kWh/m³; e o valor do *payback* é menor que o período de análise do investimento, que é de 10 anos.

5.2.5 Estudo de Caso 05: Criação de caprinos

O estudo realizado por Menezes (2008), visa o dimensionamento de um biodigestor indiano para uma propriedade que possui um rebanho com 400 caprinos. O biogás produzido será utilizado para o funcionamento de alguns equipamentos presentes na propriedade, na qual residem quatro pessoas.

A Tabela 17 apresenta a relação dos tipos e das quantidades dos equipamentos que serão abastecidos com o biogás, assim como o tempo de funcionamento.

Tabela 17 - Relação dos equipamentos utilizados no estudo realizado por Menezes (2008).

Equipamentos	Quantidade	Horas de funcionamento/dia
Fogão	1	-
Geladeira	1	-
Motor de 5 hp	1	3
Lampião	4	5

Fonte: Adaptada de Menezes (2008).

Menezes (2008) considera em seu dimensionamento o tempo de retenção igual a 50 dias e o diâmetro interno do biodigestor equivalente a 3,2 metros. No estudo, Menezes (2008) não realiza a análise econômica do projeto, logo, para realizar o dimensionamento por meio do *software*, o dado de entrada econômico “Valor da tarifa energética” será considerado igual a 0,41 R\$/kWh, tarifa cobrada ao consumidor rural pela CEMIG (CEMIG, 2018); a “Taxa média da inflação” será equivalente a 4,53 % e a “Taxa SELIC” será igual a 6,5 %, sendo os valores médios dos últimos doze meses (BCB, 2018).

De posse desses dados, realiza-se o dimensionamento para este estudo de caso. Como a finalidade da implantação do biodigestor é produzir o biogás para atender o consumo dos equipamentos da propriedade, será utilizada a segunda forma de dimensionamento contemplada pelo *software*.

A Figura 62 apresenta os dados de entrada entregues ao programa.

Figura 62 - Dados de entrada do programa para o estudo de caso 05.

Entrada de Dados Bi Program

Dados Técnicos

Tempo de retenção: Dias

Quantidade de pessoas na propriedade: Pessoas

Diâmetro interno do biodigestor: Metros

(O valor do diâmetro deve respeitar a relação: $2.0\text{ m} \leq \text{Diâmetro} \leq 6.0\text{ m}$)

Tipo de criação de animais

Vaca leiteira Porca em gestação
 Bovino de corte Leitão na creche
 Suíno de 25 kg a 100 kg Caprino
 Cachaço

Fontes de consumo de biogás

Equipamentos	Quantidade	Horas	Potência (HP)
<input checked="" type="checkbox"/> Motor	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="5"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Lâmpião	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="5"/>	
<input type="checkbox"/> Campânula	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> Geladeira	<input type="text" value="1"/>		
<input checked="" type="checkbox"/> Fogão	<input type="text" value="1"/>		
<input type="checkbox"/> Chuveiro	<input type="text"/>		

Dados Econômicos

Valor da tarifa energética: R\$/kWh

Taxa média da inflação: %

Taxa SELIC: %

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Após acionar o botão de comando “Dimensionar”, presente na interface de entrada da Figura 62, aparece uma tela com uma mensagem de erro, como mostra a Figura 63.

Figura 63 - Mensagem de erro para o estudo de caso 05.

Entrada de Dados Bi Program

Dados Técnicos

Tempo de retenção: Dias

Quantidade de pessoas na propriedade: Pessoas

Diâmetro interno do biodigestor: Metros

(O valor do diâmetro deve respeitar a relação: $2.0\text{ m} \leq \text{Diâmetro} \leq 6.0\text{ m}$)

Tipo de criação de animais

Vaca leiteira Porca em gestação

Bovino de corte Leitão na creche

Suíno de 25 kg a 100 kg Caprino

Cachaço

Fontes de consumo de biogás

Equipamentos	Quantidade
<input checked="" type="checkbox"/> Motor	<input type="text" value="1"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Lampião	<input type="text" value="4"/>
<input type="checkbox"/> Campânula	<input type="text"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Geladeira	<input type="text" value="1"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Fogão	<input type="text" value="1"/>
<input type="checkbox"/> Chuveiro	<input type="text"/>

Dados Econômicos

Valor da tarifa energética: R\$/kWh

Taxa média da inflação: %

Taxa SELIC: %

< Anterior Dimensionar

Mensagem

 ERRO!! Relação (DiB/HuB) menor que 0.6!

OK

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

De acordo com a mensagem da Figura 63, a relação entre o diâmetro interno e a altura útil do biodigestor, apresentada na Equação (5), não é respeitada, sendo seu valor menor que 0,60. Dessa forma, não é possível prosseguir com o dimensionamento do biodigestor. É preciso que o usuário procure profissionais da área, de modo que sejam analisadas todas as especificações da implantação, para garantir o dimensionamento correto do biodigestor indiano.

Uma possível solução para este caso seria alterar o tempo de retenção, considerado por Menezes (2008) de 50 dias. Ao observar outros estudos de caso, nota-se que é utilizado de forma majoritária o tempo de retenção equivalente a 30 dias. Dessa forma, realizou-se o

dimensionamento do biodigestor com o auxílio do programa considerando o novo valor para o tempo de retenção.

A Figura 64 apresenta os dados de entrada fornecidos ao *software*.

Figura 64 - Dados de entrada do programa para o estudo de caso 05 considerando o tempo de retenção de 30 dias.

Entrada de Dados *Bi Program*

Dados Técnicos

Tempo de retenção: Dias

Quantidade de pessoas na propriedade: Pessoas

Diâmetro interno do biodigestor: Metros
(O valor do diâmetro deve respeitar a relação: $2.0\text{ m} \leq \text{Diâmetro} \leq 6.0\text{ m}$)

Tipo de criação de animais

Vaca leiteira Porca em gestação
 Bovino de corte Leitão na creche
 Suíno de 25 kg a 100 kg Caprino
 Cachaço

Fontes de consumo de biogás

Equipamentos	Quantidade	Horas	Potência (HP)
<input checked="" type="checkbox"/> Motor	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="5"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Lâmpião	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="5"/>	
<input type="checkbox"/> Campânula	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> Geladeira	<input type="text" value="1"/>		
<input checked="" type="checkbox"/> Fogão	<input type="text" value="1"/>		
<input type="checkbox"/> Chuveiro	<input type="text"/>		

Dados Econômicos

Valor da tarifa energética: R\$/kWh

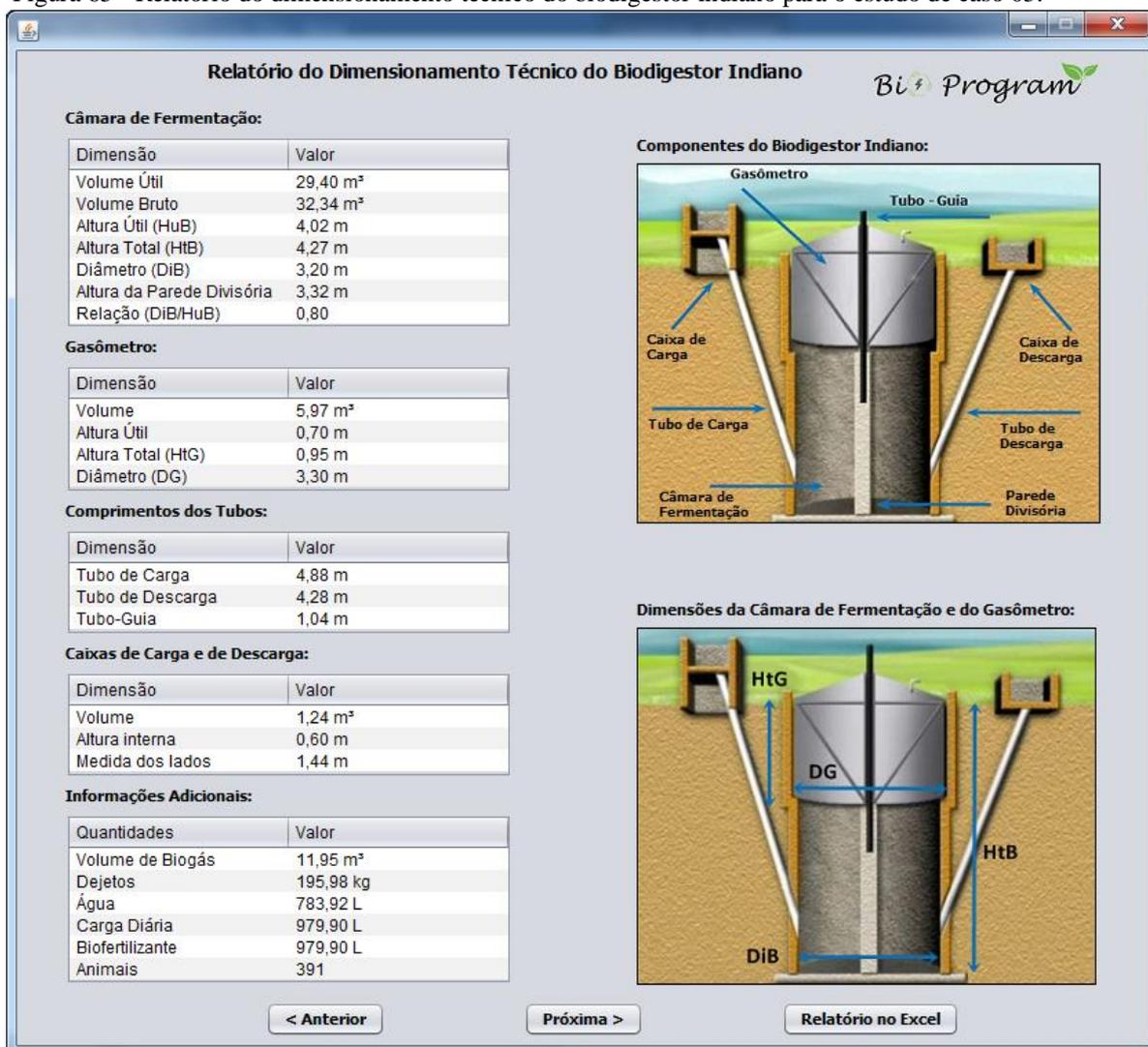
Taxa média da inflação: %

Taxa SELIC: %

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

As interfaces de saída do *software* para este novo dimensionamento são apresentadas nas Figuras 65, 66 e 67.

Figura 65 - Relatório do dimensionamento técnico do biodigestor indiano para o estudo de caso 05.



Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Figura 66 - Planilha orçamentária para o estudo de caso 05.

Planilha Orçamentária do Projeto				
<i>Bi Program</i>				
Produto ou Serviço	Unidade	Quantidade	Preço	Valor Total
Chapa de aço galvanizada GSG 14	kg	292,00	7,12	2.084,13
Tijolos	un	9.495,00	0,26	2.468,70
Cimento	50kg	65,00	17,90	1.178,89
Vergalhão (3/8 pol)	kg	124,00	4,44	552,94
Vergalhão (5 mm)	kg	55,00	4,40	246,02
Areia Média	m ³	4,84	61,67	298,56
Areia Fina	m ³	2,88	65,38	188,18
Pedra Britada 2	m ³	2,74	58,75	160,89
Pedra Britada 1	m ³	0,91	58,75	53,63
Tubo PVC (150 mm)	m	9,25	19,16	177,30
Tubo de aço galvanizado (3 pol)	m	0,96	72,79	69,74
Tubo de aço galvanizado (2 1/2 pol)	m	1,05	54,09	57,00
Tubo de aço galvanizado (3/4 pol)	m	0,10	13,96	1,41
Impermeabilizante	kg	9,00	4,35	40,53
Arame	kg	4,00	9,10	36,40
Saibro	m ²	0,58	54,68	31,57
Tábua (25 x 30 cm)	m	1,01	14,89	14,99
Sarrafo (2,5 x 7,0 cm)	m	1,87	4,48	8,40
Prego com cabeça dupla (17x27)	kg	0,69	10,83	7,52
Prego com cabeça (17x21)	kg	0,10	8,78	0,91
Desmoldante	L	0,35	5,19	1,80
Retroscavadeira	h	1,73	36,741	63,60
Compactador de placa vibratória	h	2,56	3,2524	8,33
SUBTOTAL DOS MATERIAIS				R\$ 7.751,46
Pedreiro	h	245,00	14,00	3.430,00
Servente	h	320,00	9,15	2.928,00
Operador da Retroscavadeira	h	1,73	15,89	27,51
SUBTOTAL DA MÃO DE OBRA				R\$ 6.385,51
CUSTOS ADICIONAIS				R\$ 1.413,70
TOTAL				R\$ 15.550,66

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Figura 67 - Relatório financeiro do projeto para o estudo de caso 05.

Relatório Financeiro do Projeto *Bio Program*

Análise Econômica considerando o poder calorífico igual a 4,95 kWh/m³:

Grandeza	Valor
Valor Total do Projeto	R\$15.550,66
Geração de biogás equivalente a	5.310,69 kWh/ano
Payback	10 anos
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$-2.956,65
Taxa Interna de Retorno (TIR)	0,01 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Conservadora)	6,50 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Pessimista)	13,00 %

Análise Econômica considerando o poder calorífico igual a 6,5 kWh/m³:

Grandeza	Valor
Valor Total do Projeto	R\$15.550,66
Geração de biogás equivalente a	6.973,63 kWh/ano
Payback	7 anos
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$3.177,36
Taxa Interna de Retorno (TIR)	0,01 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Conservadora)	6,50 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Pessimista)	13,00 %

Análise Econômica considerando o poder calorífico igual a 7,92 kWh/m³:

Grandeza	Valor
Valor Total do Projeto	R\$15.550,66
Geração de biogás equivalente a	8.497,10 kWh/ano
Payback	6 anos
Valor Presente Líquido (VPL)	R\$8.796,90
Taxa Interna de Retorno (TIR)	0,01 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Conservadora)	6,50 %
Taxa Mínima de Atratividade (TMA) (Pessimista)	13,00 %

< Anterior Relatório no Excel

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

A Tabela 18 apresenta o comparativo entre os dados do dimensionamento realizado por Menezes (2008) e os dados dos dimensionamentos técnicos, considerando os tempos de retenção iguais a 30 e 50 dias.

Tabela 18 - Comparativo entre os resultados do dimensionamento realizado por Menezes (2008) e os dados dos dimensionamentos técnicos, considerando os tempos de retenção de 30 e 50 dias.

Variáveis	MENEZES, 2008	Tempo de retenção de 30 dias	Tempo de retenção de 50 dias
Volume útil da câmara de fermentação (m ³)	23,90	29,40	48,99
Volume bruto da câmara de fermentação (m ³)	26,52	32,34	53,89
Altura útil da câmara de fermentação (m)	3,30	4,02	6,70
Diâmetro interno do biodigestor (m)	3,20	3,20	3,20
Volume de biogás (m ³)	11,95	11,95	11,95
Dejetos (kg)	195,98	195,98	195,98
Água (L)	783,92	783,92	783,92
Carga diária (L)	979,90	979,90	979,90
Animais	392	391	392
Relação (Di_B/Hu_B)	0,97	0,80	0,478
Volume do gasômetro (m ³)	6,58	5,97	-
Altura útil do gasômetro (m)	0,77	0,70	-
Diâmetro do gasômetro (m)	3,30	3,30	-
Volume das caixas (m ³)	0,16	1,24	-
Altura das caixas (m)	0,50	0,60	-
Medida dos lados das caixas (m)	0,57	1,44	-

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Os resultados do dimensionamento técnico para o tempo de retenção de 50 dias foram obtidos realizando os cálculos manualmente. Como observa-se na Tabela 18, a relação entre o diâmetro interno e a altura útil do biodigestor apresentou o valor de 0,478, desrespeitando a Equação (5), assim, não foi possível concluir o dimensionamento do biodigestor.

Ao modificar o tempo de retenção para 30 dias, a relação (Di_B/Hu_B) apresentou o valor de 0,80. Dessa forma, por estar de acordo com a Equação (5), pode-se realizar o dimensionamento do biodigestor indiano.

A Tabela 19 apresenta o índice de concordância obtido entre os dados do dimensionamento realizado por Menezes (2008) e os dados do dimensionamento técnico realizado pelo *software* para o tempo de retenção de 30 dias.

Tabela 19 - Comparativo entre os resultados dos dimensionamentos técnicos realizados por Menezes (2008) e pelo *software* para o tempo de retenção de 30 dias.

Variáveis	MENEZES, 2008	Tempo de retenção de 30 dias	Índice de concordância (%)
Volume útil da câmara de fermentação (m ³)	23,90	29,40	81,29
Volume bruto da câmara de fermentação (m ³)	26,52	32,34	82
Altura útil da câmara de fermentação (m)	3,30	4,02	82,09
Diâmetro interno do biodigestor (m)	3,20	3,20	100
Volume de biogás (m ³)	11,95	11,95	100
Dejetos (kg)	195,98	195,98	100
Água (L)	783,92	783,92	100
Carga diária (L)	979,90	979,90	100
Animais	392	391	99,74
Relação (Di_B/Hu_B)	0,97	0,80	82,47
Volume do gasômetro (m ³)	6,58	5,97	90,73
Altura útil do gasômetro (m)	0,77	0,70	90,91
Diâmetro do gasômetro (m)	3,30	3,30	100
Volume das caixas (m ³)	0,16	1,24	12,90
Altura das caixas (m)	0,5	0,6	83,33
Medida dos lados das caixas (m)	0,57	1,44	39,58

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

De acordo com os dados da Tabela 19, observa-se que o valor do volume das caixas apresenta uma grande diferença entre os dimensionamentos. Isso deve-se ao fato de que, em seu trabalho, Menezes (2008) considera que as caixas de carga e de descarga devem possuir as dimensões equivalentes a 1/3 do volume diário de dejetos, sendo, então, necessário que o

abastecimento do biodigestor seja realizado três vezes ao dia, para corresponder ao volume diário de carga. Assim, conseqüentemente, o valor da medida dos lados das caixas também apresenta-se diferente.

Embora os dimensionamentos possuam essas diferenças, os índices de concordância para os valores das outras grandezas, apresentados na Tabela 19, mostram-se acima de 80%, validando, assim, os resultados gerados pelo programa.

Com relação ao relatório financeiro do projeto apresentado na Figura 67, nos três cenários econômicos os valores da TIR são menores que os valores da TMA, tanto a TMA Conservadora quanto a TMA Pessimista. Além disso, para a análise econômica considerando o poder calorífico de 4,95 kWh/m³, o valor do VPL é negativo, refletindo em um *payback* de 10 anos, equivalente ao tempo de análise (tempo de vida de útil do sistema de biodigestão). Dessa forma, a implantação do biodigestor indiano dimensionado para este caso mostra-se um investimento inviável.

Conforme os resultados obtidos nos testes realizados com os estudos de caso, verificou-se o funcionamento apropriado do programa desenvolvido, por apresentar resultados com índices de concordância superior à 80%.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tecnologia da biodigestão anaeróbica apresenta-se atrativa não somente devido às vantagens ambientais, mas também econômicas e sociais. Com o tratamento dos resíduos orgânicos no interior dos biodigestores, tem-se a mitigação dos problemas ambientais causados pelo descarte inadequado, além da agregação de valor aos subprodutos gerados pelo processo, o biogás e o biofertilizante.

Como proposto no início deste trabalho, foi desenvolvida uma ferramenta computacional de auxílio para o dimensionamento do biodigestor modelo indiano, com o objetivo de promover a democratização e a difusão desta tecnologia. Após um estudo sobre o dimensionamento, a construção e a operação do mesmo, definiu-se as metodologias que seriam abordadas pelo *software*. De modo a contemplar diversos públicos alvos, o programa possibilita que o dimensionamento do biodigestor indiano seja realizado conforme a quantidade de dejetos disponíveis diariamente ou de acordo com o consumo de biogás pelos equipamentos da propriedade. Além disso, o usuário pode dimensionar o sistema de biodigestão com o intuito de produzir o biogás para o seu consumo direto ou para realizar a sua conversão em energia elétrica.

Para desenvolver o *software* utilizou-se a linguagem de programação Java, a fim de criar uma interface amigável, intuitiva e de fácil utilização. Após o processamento dos dados de entrada, o programa apresenta em sua saída o relatório do dimensionamento técnico, a planilha orçamentária do projeto e um estudo da viabilidade econômica da implantação do sistema. Um ponto relevante é o fato de que a análise financeira é realizada considerando três valores do poder calorífico do biogás, pois este altera-se conforme as condições ambientais do local. Assim, apresenta-se ao usuário três possíveis cenários econômicos do investimento do projeto.

Com o propósito de analisar os resultados gerados pelo programa e observar o seu desempenho, foram realizados testes baseados em estudos de caso de projetos registrados na literatura. Para demonstrar a confiabilidade dos resultados, calculou-se o índice de concordância entre os dados gerados pelo *software* e as variáveis apresentadas nos estudos de caso. Os valores de concordâncias mínimas obtidos foram de, respectivamente, 83,33%, 99,75%, 93,91% e 81,29% para os estudos de caso 1, 2, 4 e 5, assegurando, assim, a eficácia do *software* desenvolvido.

Ressalta-se que apesar de o *software* facilitar e agilizar o processo de cálculo do projeto, o acompanhamento de um profissional da área é fundamental antes de qualquer tomada de decisão baseada nos resultados do dimensionamento realizado pelo programa.

6.1 Trabalhos Futuros

Como forma de prosseguimento da pesquisa desenvolvida neste trabalho de conclusão de curso, sugere-se as seguintes propostas:

- Pesquisar outras metodologias para o dimensionamento do biodigestor indiano;
- Desenvolver a forma de dimensionamento do biodigestor indiano para suprir toda a demanda de consumo de energia elétrica da propriedade;
- Investigar metodologias de dimensionamento de outros modelos de biodigestores, visando aprimorar o *software* para dimensionar vários tipos de biodigestores;
- Realizar análises sobre a influência das variáveis de entrada, como o tipo de criação, nos resultados apresentados pelo *software*;
- Aprimorar a programação do *software* para desenvolvimento em sistema Android, buscando uma maior portabilidade do programa;
- Realizar um estudo aprofundado sobre a viabilidade do fornecimento da energia elétrica excedente, gerada pelo sistema de biodigestão, ao sistema integrado de energia, analisando as questões com relação ao sincronismo e à proteção;
- Comparar o custo do investimento, a produção de energia e o retorno financeiro obtidos na implantação de biodigestores, com os da implantação de sistemas fotovoltaicos, para uma mesma demanda energética.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABPA, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **ABPA e ABIEC defendem setor de proteína animal, em que o Brasil é exemplo mundial.** 2017. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/noticia/abpa-e-abiec-defendem-setor-de-proteina-animal-em-que-o-brasil-e-exemplo-mundial-1996>>. Acesso em: 18 Out. 2018.

ACTUALIDAD MOTOR. **Cámaras de Combustión.** 2017. Disponível em: <<https://www.actualidadmotor.com/tipos-de-camaras-de-combustion/>>. Acesso em: 20 Mar. 2018.

AGEITEC. **Biofertilizantes.** Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fj1gh4ku02wyiv802hvm3jd85f37c.html>>. Acesso em: 22 Mar. 2018.

ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil.** 2008. 236 p. 3. ed. Brasília: ANEEL, 2008.

ALVES, Anelisiane Maria. **Desenvolvimento de um aplicativo computacional para dimensionamento técnico e econômico de biodigestores tipo tubular.** 2017. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura)–Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

ALVES, Elton Eduardo Novais. et al. **Biodigestores: construção, operação e usos do biogás e do biofertilizante visando a sustentabilidade das propriedades rurais.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 2., 2010, Viçosa – MG. **Tópico temático...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2010.

ARAÚJO, Amanda Vianna de. et al. Uso de biogás em máquinas térmicas. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 3, n. especial, p. 274-290, 2014.

ABBM, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BIOGÁS E METANO. **Biogás.** Santa Cruz do Sul, 2014. Disponível em: <<http://www.abbiogasemetano.org.br/biogas.htm>>. Acesso em: 08 Mar. 2018.

BCB, BANCO CENTRAL DO BRASIL. Relatório de inflação. **Relatório de inflação,** Brasília, v. 20, n. 3, p. 1-75, set. 2018. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/htms/relinf/port/2018/09/ri201809P.pdf>>. Acesso em: 10 Out. 2018.

BIOGÁS MOTORES ESTACIONÁRIOS. Disponível em: <<http://biogasmotores.com.br/empresa>>. Acesso em: 02 Out. 2018.

BÚ ARAÚJO, Maria Isabel do. et al. **Dimensionamento de biodigestores indiano para a cidade de Campina Grande.** Blucher Chemistry Proceedings, v. 3, n. 1, nov. 2015.

CAIXA. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI)**. 2018. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 30 Set. 2018.

CEB, COMPANHIA ENERGÉTICA DE BRASÍLIA. **Tarifas**. 2018. Disponível em: <<http://www.ceb.com.br/index.php/component/phocadownload/category/27-tarifas#>>. Acesso em: 10 Out. 2018.

CEMIG, COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Valores de tarifa e serviços**. 2018. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx>. Acesso em: 12 Out. 2018.

CERVI, Ricardo G. et al. Viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em granja suinícola para geração de energia elétrica. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n. 5, p. 831-844, set./out. 2010.

COLDEBELLA, Anderson. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. 2006. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)–Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Paraná, 2006.

COMPRE RURAL. **Top 10 maiores países produtores agropecuários do mundo**. 2016. Disponível em: <<https://www.comprerural.com/top-10-maiores-paises-produtores-agropecuarios-do-mundo-o-que-impressiona-e-o-japao-na-lista/>>. Acesso em: 17 Out. 2018.

DEGANUTTI, Roberto. et al. **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada**. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas – SP. **Anais eletrônicos...** Bauru: Departamento de Artes e Representação Gráfica, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, 2002. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000100031&lng=pt&nrm=abn>. Acesso em: 30 Mar. 2018.

DOMINIAC, Altivir Luiz. et al. **Projeto e implantação de sistemas de geração de biogás em pequenas propriedades rurais como fonte alternativa de energia**. 2016. 56 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica)–Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

ER-BR - ENERGIAS RENOVÁVEIS LTDA. Disponível em: <<http://www.erbr.com.br/empresa/empresa.php>>. Acesso em: 02 Out. 2018.

FIGUEIREDO, Larissa Soares. **Análise da viabilidade do uso de biodigestores em propriedades rurais**. 2017. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica)–Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Formiga, 2017.

FRANCISCO, Wagner de Cerqueira e. **Brasil Escola: Energia Hidrelétrica**. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/energia-hidreletrica.htm>>. Acesso em: 17 Mai. 2018.

GASPAR, Rita Maria Bedran Leme. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo-PR**. 2003. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)–Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GONÇALVES, Victor. Payback: o que é e como calcular. **Blog Voitto**, jun. 2018. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/payback>>. Acesso em: 26 Set. 2018.

ICLEI–BRASIL. **Manual para aproveitamento do biogás: volume um, aterros sanitários**. ICLEI–Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2009.

INFOMOTOR. **Princípio de Funcionamento do Motor a Combustão Interna Ciclo Otto**. 2009. Disponível em: <<http://www.infomotor.com.br/site/2009/03/principio-de-funcionamento-do-motor-a-combustao-interna-ciclo-otto/>>. Acesso em: 20 Mar. 2018.

JORGE, Márcio P. Biodigestores: Uma inovação na gestão do lixo sólido e na produção de gás. **Pensamento Realidade**, São Luís, n. 19, p. 75-99, 2006.

JUNQUEIRA, Sérgio Luís Coelho Diniz. **Geração de energia através de biogás proveniente de esterco bovino: estudo de caso na fazenda Aterrado**. 2014. 55 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica)–Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica DEM/POLI/UFRJ, Rio de Janeiro, 2014.

KARLSSON, Tommy. et al. **Manual básico de biogás**. 1.ed. Lajeado: Univates, 2014.

LEÃO ENERGIA. **Leão desde 1961: Gerando energia a serviço do futuro**. Disponível em: <<http://www.leaoenergia.com.br/empresa/>>. Acesso em: 02 Out. 2018.

LUCAS JÚNIOR, Jorge de. et al. **Construção e operação de biodigestores**. Viçosa, MG: Centro de Produções Técnicas (CPT), 2009.

MADIGAN, Michael T. et al. **Microbiologia de Brock**. 12. ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2010.

MARIANO, André Bellin. **Biodigestores**. 2011. Disponível em: <<https://andrebmariano.blogspot.com.br/2011/05/biodigestores.html>>. Acesso em: 27 Mar. 2018.

MENEZES, Humberto Soares. **Geração de biogás a partir de esterco caprino**. 2008. 25 p. Dissertação (Especialização)–Programa de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Formas Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2008.

MME, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro**. 27 p. 2018. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138781/1435504/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico+-+Mar%C3%A7o+-+2018_1.pdf/a87b8720-c030-4bfa-8c10-e19cb8d2854c>. Acesso em: 17 Mai. 2018.

MONTEIRO NETO, Aristides. **Política externa, espaço e desenvolvimento**. Brasília: Ipea, 2014. 170 p.: il. gráfs. – (Desenvolvimento nas Ciências Sociais: o Estado das Artes; Livro 3). Disponível em: <

http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/140616_polticaexternaespaço3.pdf>. Acesso em: 22 Out. 2018.

MORAIS, Marcelo Antonio. **Estudo experimental e avaliação econômica da operação de biodigestores tubulares para a produção de biogás a partir de resíduos da suinocultura**. 2012. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Energia)–Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Minas Gerais, 2012.

NISHIMURA, Rafael. **Análise de balanço energético de sistema de produção de biogás em granja de suínos: implementação de aplicativo computacional**. 2009. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)–Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

OLIVEIRA JÚNIOR, Frederico Alvarenga de. **Ensino não formal da diminuição da carga poluidora de dejetos animais a partir da produção de biogás e biofertilizante em pequenas propriedades rurais**. 2013. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática)–Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

OLIVEIRA, Rafael Deléo e. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbica de dejetos em abatedouros e as possibilidades no mercado de carbono**. 2009. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação)–Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

OMENA, Elizabeth; JORGE, Lucia Helena de Araújo. **Dossiê técnico: Biodigestor**. SENAI/AM – Escola SENAI “Antônio Simões”. Amazonas: Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, 2012.

PECORA, Vanessa. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da UPS: estudo de caso**. 2006. 152 f. Dissertação (Mestrado em Energia)–Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PERDOMO, Carlos Claudio. et al. **Sistemas de tratamento de dejetos suínos: inventário tecnológico**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2003. 83 p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/442108/1/doc85.pdf>>. Acesso em: 03 Abr. 2018.

PEREZ, Kamilla Paes. et al. Sustentabilidade: através de biocombustíveis e novas formas de produção do etanol. **Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, v. 1, p. 223-226. 2010.

PORTAL DO BIOGÁS. **Biodigestão Anaeróbia**. 2013. Disponível em: <<https://www.portaldobiogas.com/biodigestao-anaerobia/>>. Acesso em: 08 Mar. 2018.

PORTES, Zara Aparecida. **Aplicativo computacional para projetos de biodigestores rurais**. 2005. 105 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de Concentração de Energia na Agricultura)–Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, São Paulo, Botucatu, 2005.

PRATES, Wlademir Ribeiro. O que é VPL (Valor Presente Líquido)? **WR Prates**, maio 2016. Disponível em: <<https://www.wrprates.com/o-que-e-vpl-valor-presente-liquido/>>. Acesso em: 27 Set. 2018.

PRATES, Wlademir Ribeiro. O que é TIR (Taxa Interna de Retorno)? **WR Prates**, jun. 2016. Disponível em: <<https://www.wrprates.com/o-que-e-tir-taxa-interna-de-retorno/>>. Acesso em: 27 Set. 2018.

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

RODRIGUES, Alex. Venezuela pode suspender repasse de energia elétrica a Roraima. **Agência Brasil**, Brasília, 31 ago. 2018. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2018-08/venezuela-pode-suspender-repasse-de-energia-eletrica-roraima>>. Acesso em: 15 Out. 2018.

SANTANA, Otávio Gonçalves de. Por que Java? **DEVMEDIA**, 2011. Disponível em: <<https://www.devmedia.com.br/por-que-java/20384>>. Acesso em: 04 Out. 2018.

SANTOS, Ivan Felipe. et al. Uma avaliação energética, econômica e ambiental das opções de aproveitamento energético do biogás de um aterro sanitário no Brasil. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – Universidade Federal de Santa Maria (REGET/UFSM)**, Santa Maria – RS, v. 19, n. 21, p. 1344-1356, maio/agosto 2015.

SEBRAE, SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **PIB**. 2018. Disponível em: <<http://datasebrae.com.br/pib/>>. Acesso em: 18 Out. 2018.

SIDNEY, Luiz Henrique Faleiro. et al. Utilização das Heurísticas de Nielsen para desenvolvimento de um software para auxílio ao dimensionamento de biodigestores. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa – MG, v. 20, n. 4, p. 291-301, julho/agosto 2012.

SILVA, Frederico Pinto da. **O potencial energético e benefícios ambientais que trás um biodigestor indiano em uma criação de suínos em fase de terminação**. 2009. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização)–Pós-Graduação *Latu Sensu* em Fontes Alternativas de Energia (FAE), Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2009.

SILVA, Frederico Pinto da. **Possibilidade de autonomia e soberania energética através da biodigestão anaeróbica em assentamento da reforma agrária: estudo de caso no projeto de assentamento Pequeno Willian-DF**. 2015. 162 f. Dissertação (Mestrado)–Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural (PPG – MADER), Faculdade UnB Platina, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

SILVEIRA, Simoni Júlia da. **Manual de normalização para apresentação de trabalhos acadêmicos do IFMG – Campus Formiga**. Formiga, 2011. Disponível em: <<https://www.formiga.ifmg.edu.br/documents/2018/EngenhariaEletrica/Manual-de-Normalizacao-para-apresentao-de-trabalhos-academicos-no-IFMG---Campus-Formiga.pdf>>. Acesso em: 26 Out. 2018.

SIMÃO, Aline. **Energia elétrica no Brasil em 2018: Panorama**. 2018. Disponível em: <<http://www.asmlatin.com/2018/02/energia-eletrica-no-brasil-em-2018-panorama/>>. Acesso em: 14 Mai. 2018.

SOUZA, Samuel Nelson Melegari de. **Manual de geração de energia elétrica a partir do biogás no meio rural**. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Paraná, 2016.

TCPO, TABELAS DE COMPOSIÇÕES DE PREÇOS PARA ORÇAMENTOS. 13. ed. São Paulo: Pini, 2008.

TEIXEIRA, Eglé Novaes. **Adaptação de estruturas existentes (esterqueiras) em biodigestores**. 1985. 281 f. Dissertação (Mestrado)–Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1985.

ZILOTTI, Hércio Alexandre Rodrigues. **Potencial de produção de biogás em uma estação de tratamento de esgoto de Cascavel para a geração de energia elétrica**. 2012. 52 p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura)–Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Paraná, 2012.

ANEXO A – Formas de aplicação do biogás

Neste anexo serão dissertadas as formas de aplicação do biogás para a geração de energia térmica e como combustível veicular.

1. Geração de energia térmica

Assim, como a geração de energia elétrica, outra aplicação é a geração de energia térmica, que ocorre pelo processo de combustão direta do biogás. Este método de conversão de energia é simples, porém, o calor, diferente da energia elétrica, não é facilmente transportado por grandes distâncias, podendo ocorrer perdas energéticas. Desse modo, as unidades consumidoras devem estar próximas aos sistemas de geração (ICLEI–BRASIL, 2009).

Para realizar a transformação do biogás em energia térmica utilizam-se as caldeiras. O funcionamento deste equipamento consiste em transferir o calor obtido pela combustão do biogás, em um sistema fechado, para um fluido, sem que haja um contato direto, ocorrendo, assim, a geração de vapor. Dessa forma, o vapor produzido poderá ser utilizado em processos agroindustriais, no aquecimento direto ou na geração de energia elétrica (ARAÚJO et al., 2014).

A produção combinada de calor e eletricidade é definida como cogeração, sendo esta a melhor forma de aproveitamento da energia térmica (COLDEBELLA, 2006). Estes sistemas de cogeração baseiam-se no ciclo Rankine como princípio de funcionamento. A principal característica deste ciclo é que a combustão do combustível, neste caso o biogás, é externa ao fluido de trabalho, sendo este normalmente água. Antes de entrar na caldeira, é necessário o aquecimento da água, de modo que seja transformada em vapor. No interior da caldeira, acontece uma troca de calor entre o vapor e o biogás, causando o sobreaquecimento do vapor. Em seguida, ao entrar na turbina, o vapor se expande, transformando a energia do vapor em energia mecânica (ARAÚJO et al., 2014). Dessa forma, com o acionamento da turbina, estando esta acoplada a um gerador, tem-se também a geração de energia elétrica.

Este processo de cogeração traz benefícios ao meio ambiente, em consequência da diminuição das emissões de carbono e outros poluentes atmosféricos (ICLEI–BRASIL, 2009). Entretanto, com a utilização do biogás diretamente em caldeiras, ocorre a diminuição da vida útil do equipamento, devido à corrosão, e, também, à diminuição do poder calorífico, por causa

da umidade. Assim, para evitar estes empecilhos, devem ser instalados materiais resistentes a corrosão e purgadores, para diminuir a umidade (ARAÚJO et al., 2014).

2. Combustível veicular

Outra aplicação do biogás, além da geração das energias elétrica e térmica, é a sua utilização como combustível veicular. O biogás gerado no interior dos biodigestores não pode ser usado diretamente como combustível para veículos. Primeiro, é preciso que este gás passe por um processo de purificação, o qual consiste na remoção de alguns componentes presentes na sua composição, como o dióxido de carbono (CO_2), o ácido sulfídrico (H_2S), umidade e partículas, além de elevar o teor de concentração do metano. Esta técnica é importante pois, para que o biogás funcione como combustível veicular, o mesmo deve conter uma porcentagem máxima de CO_2 , sendo esta equivalente a 5%, e uma porcentagem mínima de metano, igual a 86%. Além disso, outros componentes são removidos do biogás por afetarem o seu processo de combustão e diminuírem a sua eficiência como combustível (ICLEI–BRASIL, 2009).

O procedimento de purificação inicia-se com a remoção do ácido sulfídrico, para isso, o biogás é inserido em um filtro de óxido de ferro. Em seguida, o biogás passa por um compressor de baixa capacidade, onde o CO_2 é eliminado. Estando livre do CO_2 e do H_2S , o biogás é conduzido para um sistema de secagem, de modo a eliminar a umidade, finalizando, então, o processo de purificação (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

Para que os veículos possam utilizar o biogás como combustível, são necessárias algumas adaptações. Diante disso, a adaptação de automóveis com motores a diesel é o mais recomendável pois, estes apresentam uma alta taxa de compressão, sendo então necessário, somente uma válvula reguladora de pressão e dosadora (LUCAS JÚNIOR et al., 2009).

Com a substituição dos combustíveis fósseis pelo biogás, tem-se a redução da emissão de particulados, de NO_x e outros poluentes ambientais, além de diminuir os gastos com outros combustíveis (ICLEI–BRASIL, 2009).

ANEXO B – Modelos de Conjunto Motor Gerador

Este anexo contém a Tabela 20 na qual são apresentados os modelos dos conjuntos motores geradores a biogás, seus respectivos valores de potência e fabricantes.

Tabela 20 - Modelos de Conjuntos Motores Geradores a Biogás.

Modelo	Potência (kVA)	Fabricante
GGB 30	30	Biogás Motores Estacionários
GGB 50	50	Biogás Motores Estacionários
GGB 65	65	Biogás Motores Estacionários
LGB 80	80	Leão Energia
GGB 100	100	Biogás Motores Estacionários
GGB 120	120	Biogás Motores Estacionários
GGB 140	140	Biogás Motores Estacionários
GGB 180	180	Biogás Motores Estacionários
GGB 200	200	Biogás Motores Estacionários
GSCA 250	250	ER-BR - Energias Renováveis
LGB 330	330	Leão Energia
LGB 420	420	Leão Energia

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

ANEXO C – Composições de serviços definidas pela TCPO

Neste anexo são apresentadas as composições de serviços definidas pela TCPO, as quais foram utilizadas nos cálculos dos insumos para o orçamento da construção do biodigestor indiano.

- **Escavação mecanizada:** Uso da retroescavadeira de código 22700.9.8.12.

Figura 68 - Composição do serviço escavação mecanizada.

02315.8.4. ESCAVAÇÃO MECANIZADA de vala escorada em solo de 1ª categoria - unidade: m ³						
CÓDIGO	COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS			
			PROFUNDIDADE (M)			
			ATÉ 2	DE 2 A 4	DE 4 A 6	DE 6 A 8
			02315.8.4.1	02315.8.4.2	02315.8.4.3	02315.8.4.4
01270.0.45.1	Servente	h	0,0704	0,019	0,0159	0,02
22700.9.8.12		h prod	0,0704	0,019	0,0159	0,02

Fonte: Extraída de TCPO (2008).

Figura 69 - Composição de serviço da retroescavadeira.

22700.9.8. RETROESCAVADEIRA sobre pneus, potência nominal no volante do motor: 85 HP, diesel, com caçamba dianteira paralela padrão de aplicação geral, com capacidade nominal de 1 m³, braço padrão com profundidade de escavação de 4.850 mm – unidade: h prod.

CÓDIGO	COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS		
			FATOR DE CARGA		
			BAIXO (VIDA ÚTIL: 8.800 H)	MÉDIO (VIDA ÚTIL: 8.000 H)	ALTO (VIDA ÚTIL: 7.200 H)
			22700.9.8.11	22700.9.8.12	22700.9.8.13
01270.0.34.19	Operador de terraplenagem	h	1,00	1,00	1,00
22050.3.39.96	Pneu AWD traseiro 16.9 x R28 (radial) com câmara	un	0,0008	0,0008	0,0008
22050.3.39.97	Pneu AWD dianteiro 340/80 x R18 (radial) com câmara	un	0,0008	0,0008	0,0008
22080.3.7.1	Graxa	kg	0,02	0,02	0,02
22080.3.9.1	Óleo diesel	l	8,55	10,50	12,30
22700.10.1.73	Depreciação de equipamentos de terraplenagem (retroescavadeira sobre pneus, diesel, potência 85 HP, capacidade 1 m ³)		3,60 x 10 ⁻⁵	3,96 x 10 ⁻⁵	4,39 x 10 ⁻⁵
22700.11.1.73	Juros do capital de equipamentos de terraplenagem (retroescavadeira sobre pneus, diesel, potência 85 HP, capacidade 1 m ³)		3,98 x 10 ⁻⁵	3,98 x 10 ⁻⁵	3,98 x 10 ⁻⁵
22700.12.1.73	Manutenção de equipamentos de terraplenagem (retroescavadeira sobre pneus, diesel, potência 85 HP, capacidade 1 m ³)		1,02 x 10 ⁻⁴	1,13 x 10 ⁻⁴	1,25 x 10 ⁻⁴

Fonte: Extraída de TCPO (2008).

- **Reaterro mecanizado:** Uso do compactador de placa vibratória de código 22700.9.2.1.

Figura 70 - Composição do serviço reaterro mecanizado.

02315.8.6.1 REATERRO MECANIZADO de vala empregando compactador de placa vibratória, em camadas de 20 cm a 40 cm – unidade: m³

CÓDIGO	COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS
01270.0.45.1	Servente	h	0,12
**22700.9.2.1	Compactador de placa vibratória, diesel, potência 4,7 HP (3,5 kW) – vida útil 8.000 h	h prod.	0,061

Fonte: Extraída de TCPO (2008).

Figura 71 - Composição de serviço do compactador de placa vibratória.

22700.9.2. COMPACTADOR de placa vibratória, diesel, potência 4,7 HP (3,5 kW) – vida útil 8.000 h				
CÓDIGO	COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS	
			H PROD.	H IMP.
			22700.9.2.1	22700.9.2.2
01270.0.1.1	Ajudante	h	1,00	1,00
22080.3.9.1	Óleo diesel	l	0,94	–
22700.10.1.4	Depreciação de equipamentos de terraplenagem (compactador de placa vibratória, diesel, potência 4,7 HP)		$3,96 \times 10^{-5}$	$3,96 \times 10^{-5}$
22700.11.1.4	Juros do capital de equipamentos de terraplenagem (compactador de placa vibratória, diesel, potência 4,7 HP)		$3,98 \times 10^{-5}$	$3,98 \times 10^{-5}$
22700.12.1.4	Manutenção de equipamentos de terraplenagem (compactador de placa vibratória, diesel, potência 4,7 HP)		$1,13 \times 10^{-4}$	–

Fonte: Extraída de TCPO (2008).

- **Apiloamento manual:** Uso de maço de 30 kg.

Figura 72 - Composição do serviço apiloamento.

02315.8.8. APILOAMENTO de fundo de vala com maço ce 40 kg a 60 kg – unidade: m²				
CÓDIGO	COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS	
			MAÇO (KG)	
			ATÉ 30	DE 40 A 60
			02315.8.8.2	02315.8.8.1
01270.0.45.1	Servente	h	1,50	1,70

Fonte: Extraída de TCPO (2008).

- **Alvenaria:** Considera-se a espessura da parede circular igual a 20 cm e a das caixas de carga e de descarga igual a 10 cm.

Figura 73 - Composição do serviço alvenaria.

04211.8.1. ALVENARIA de vedação com tijolos maciços cerâmico 5,7 x 9 x 19 cm, juntas de 12 mm com argamassa mista de cimento, saibro e areia sem peneirar traço 1:0,5:2,5 - tipo 5 - unidade: m ²				
CÓDIGO	COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS	
			ESPESSURA DA PAREDE (CM)	
			5,7	9
			04211.8.1.9	04211.8.1.10
01270.0.40.1	Pedreiro	h	0,90	1,60
01270.0.45.1	Servente	h	0,90	1,60
04211.3.4.1	Tijolo maciço cerâmico 5,7 x 9 x 19 cm (altura: 57 mm / comprimento: 190 mm / largura: 90 mm)	un	51,00	75,30
*04060.8.1.90	ARGAMASSA mista de cimento, saibro e areia sem peneirar traço 1:0,5:2,5	m ³	0,013	0,0261
COMPOSIÇÃO DETALHADA INCLUINDO A PRODUÇÃO DE INSUMOS				
01270.0.40.1	Pedreiro	h	0,90	1,60
01270.0.45.1	Servente	h	1,03	1,861
02060.3.2.1	Areia lavada tipo fina	m ³	0,009139	0,0183483
02060.3.9.1	Saibro	m ³	0,001833	0,0036801
02065.3.5.1	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	4,381	8,7957
04211.3.4.1	Tijolo maciço cerâmico 5,7 x 9 x 19 cm (altura: 57 mm / comprimento: 190 mm / largura: 90 mm)	un	51,00	75,30
			ESPESSURA DA PAREDE (CM)	
			19	29
			04211.8.1.11	04211.8.1.12
01270.0.40.1	Pedreiro	h	2,50	3,00
01270.0.45.1	Servente	h	2,50	3,00
04211.3.4.1	Tijolo maciço cerâmico 5,7 x 9 x 19 cm (altura: 57 mm / comprimento: 190 mm / largura: 90 mm)	un	149,00	225,00
*04060.8.1.90	ARGAMASSA mista de cimento, saibro e areia sem peneirar traço 1:0,5:2,5	m ³	0,067	0,109
COMPOSIÇÃO DETALHADA INCLUINDO A PRODUÇÃO DE INSUMOS				
01270.0.40.1	Pedreiro	h	2,50	3,00
01270.0.45.1	Servente	h	3,17	4,09
02060.3.2.1	Areia lavada tipo fina	m ³	0,047101	0,076627
02060.3.9.1	Saibro	m ³	0,009447	0,015369
02065.3.5.1	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	22,579	36,733
04211.3.4.1	Tijolo maciço cerâmico 5,7 x 9 x 19 cm (altura: 57 mm / comprimento: 190 mm / largura: 90 mm)	un	149,00	225,00

Fonte: Extraída de TCPO (2008).

- **Concreto armado:** Empregado na base do biodigestor e na coluna no interior da câmara de fermentação. Serão utilizados aços CA-50 e CA-60, sendo este último para os estribos. A proporção indicada para o cálculo da quantidade de cada tipo de aço a ser usado é 70 % de CA-50 e 30 % de CA-60. As barras de CA-50 são de 3/8" e de CA-60 são de 5 mm. Considera-se que para cada 1 m³ de concreto deve-se ter 80 kg de armadura

Armadura: Aços CA-50 e CA-60.

Figura 74 - Composição de serviço do aço CA-50.

03210.8.1.4 ARMADURA de aço para estruturas em geral, CA-50, diâmetro até 10,0 mm, corte e dobra industrial, fora da obra – unidade: kg			
CÓDIGO	COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS
01270.0.1.10	Ajudante de armador	h	0,06
01270.0.25.1	Armador	h	0,06
03150.3.3.6	Espaçador circular de plástico para pilares, fundo e laterais de vigas, lajes, pisos e estacas (cobrimento: 30 mm)	un	11,40
03210.1.2.1	Serviço de corte/dobra industrializado para aço CA 50/60	kg	1,05
03210.3.2.2	Barra de aço CA-50 3/8" (bitola: 10,00 mm / massa linear: 0,617 kg/m)	kg	1,05
05060.3.3.1	Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	kg	0,02

Fonte: Extraída de TCPO (2008).

Figura 75 - Composição de serviço do aço CA-60.

03210.8.1.6 ARMADURA de aço para estruturas em geral, CA-60, diâmetro 5,0 mm, corte e dobra na obra – unidade: kg			
CÓDIGO	COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS
01270.0.1.10	Ajudante de armador	h	0,07
01270.0.25.1	Armador	h	0,07
03150.3.3.6	Espaçador circular de plástico para pilares, fundo e laterais de vigas, lajes, pisos e estacas (cobrimento: 30 mm)	un	29,20
03210.3.5.2	Barra aço CA-60 (bitola: 5,00 mm / massa linear: 0,154 kg/m)	kg	1,10
05060.3.3.1	Arame recozido (diâmetro do fio: 1,25 mm / bitola: 18 BWG)	kg	0,02

Fonte: Extraída de TCPO (2008).

Concreto: Resistência à compressão de 20 MPA.

Figura 76 - Composição do serviço concreto estrutural.

03310.8.1. CONCRETO estrutural virado em obra, controle "A", consistência para vibração, brita 1 e 2 – unidade: m ³					
CÓDIGO	COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS		
			RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (F _{cd})		
			10 MPA	13,5 MPA	15 MPA
			03310.8.1.13	03310.8.1.14	03310.8.1.15
01270.0.45.1	Servente	h	6,00	6,00	6,00
02060.3.2.2	Areia lavada tipo média	m ³	0,964	0,943	0,934
02060.3.3.1	Pedra britada 1	m ³	0,209	0,209	0,209
02060.3.3.2	Pedra britada 2	m ³	0,627	0,627	0,627
02065.3.5.1	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	229,00	255,00	267,00
**22300.9.2.5	Betoneira, elétrica, potência 2 HP (1,5 kW), capacidade 400 l – vida útil 10.000 h	h prod.	0,3060	0,3060	0,3060
			RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (F _{cd})		
			16 MPA	18 MPA	20 MPA
			03310.8.1.16	03310.8.1.17	03310.8.1.18
01270.0.45.1	Servente	h	6,00	6,00	6,00
02060.3.2.2	Areia lavada tipo média	m ³	0,927	0,915	0,901
02060.3.3.1	Pedra britada 1	m ³	0,209	0,209	0,209
02060.3.3.2	Pedra britada 2	m ³	0,627	0,627	0,627
02065.3.5.1	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	275,00	290,00	306,00
**22300.9.2.5	Betoneira, elétrica, potência 2 HP (1,5 kW), capacidade 400 l – vida útil 10.000 h	h prod.	0,3060	0,3060	0,3060

Fonte: Extraída de TCPO (2008).

- **Chapisco:**

Figura 77 - Composição do serviço chapisco.

09705.8.12.4 CHAPISCO para parede interna ou externa com argamassa de cimento e areia sem peneirar traço 1:3, e = 5 mm – unidade: m ²			
CÓDIGO	COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS
01270.0.40.1	Pedreiro	h	0,10
01270.0.45.1	Servente	h	0,10
*04060.8.1.34	Argamassa de cimento e areia sem peneirar traço 1:3	m ³	0,005
COMPOSIÇÃO DETALHADA INCLUINDO A PRODUÇÃO DE INSUMOS			
01270.0.40.1	Pedreiro	h	0,10
01270.0.45.1	Servente	h	0,15
02060.3.2.2	Areia lavada tipo média	m ³	0,0061
02065.3.5.1	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	2,43

Fonte: Extraída de TCPO (2008).

- **Reboco:**

Figura 78 - Composição do serviço reboco.

09705.8.3.7 REBOCO para parede interna, com argamassa de cimento e areia peneirada traço 1:1,5, com aditivo impermeabilizante, acabamento liso, e=5 mm – unidade: m²

CÓDIGO	COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS
01270.0.40.1	Pedreiro	h	0,80
01270.0.45.1	Servente	h	0,80
*04060.8.1.24	Argamassa de cimento e areia peneirada traço 1:1,5, com aditivo impermeabilizante	m ³	0,005
COMPOSIÇÃO DETALHADA INCLUINDO A PRODUÇÃO DE INSUMOS			
01270.0.40.1	Pedreiro	h	0,80
01270.0.45.1	Servente	h	0,85
02060.8.1.1	Areia média – Secagem e peneiramento	m ³	0,003625
02065.3.5.1	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	3,765
07110.3.3.1	Aditivo impermeabilizante e plastificante em pó para argamassas	kg	0,10

Fonte: Extraída de TCPO (2008).

- **Tubos de PVC:** Diâmetro de 150 mm.

Figura 79 - Composição de serviço do tubo PVC branco.

15152.8.22. TUBO de PVC branco, sem conexões, ponta, bolsa e virola – unidade: m

CÓDIGO	COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS	
			DIÂMETRO (MM)	
			50	75
			15152.8.22.2	15152.8.22.3
01270.0.1.14	Ajudante de encanador	h	0,30	0,48
01270.0.24.1	Encanador	h	0,30	0,48
15152.3.1.2	Anel de borracha para tubo PVC para esgoto série normal (diâmetro da seção: 50,00 mm)	un	0,33	–
15152.3.1.3	Anel de borracha para tubo PVC para esgoto série normal (diâmetro da seção: 75,00 mm)	un	–	0,33
15152.3.21.1	Pasta lubrificante para tubo de PVC	kg	0,003	0,005
15152.3.29.	Tubo PBV de PVC branco para esgoto série normal	m	1,01	1,01
			DIÂMETRO (MM)	
			100	150
			15152.8.22.4	15152.8.22.5
01270.0.1.14	Ajudante de encanador	h	0,52	0,56
01270.0.24.1	Encanador	h	0,52	0,56
15152.3.1.4	Anel de borracha para tubo PVC para esgoto série normal (diâmetro da seção: 100,00 mm)	un	0,33	–
15152.3.1.5	Anel de borracha para tubo PVC para esgoto série normal (diâmetro da seção: 150,00 mm)	un	–	0,33
15152.3.21.1	Pasta lubrificante para tubo de PVC	kg	0,0077	0,009
15152.3.29.	Tubo PBV de PVC branco para esgoto série normal	m	1,01	1,01

Fonte: Extraída de TCPO (2008).

- **Tubos de aço galvanizado:** Tubos com diâmetro de 3 pol, 2 ½ pol e ¾ pol.

Figura 80 - Composição de serviço do tubo de aço galvanizado.

15141.8.28. TUBO de aço galvanizado, sem conexões com costura – unidade: m					
CÓDIGO	COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS		
			DIÂMETRO (MM)		
			15 (1/2")	20 (3/4")	25 (1")
			15141.8.28.1	15141.8.28.2	15141.8.28.3
01270.0.1.14	Ajudante de encanador	h	0,27	0,30	0,33
01270.0.24.1	Encanador	h	0,27	0,30	0,33
15141.3.27._	Tubo de aço galvanizado com costura para água/gás/fluidos não corrosivos ao aço e zinco	m	1,01	1,01	1,01
15143.3.5.1	Fita de vedação para tubos e conexões roscáveis (largura: 18 mm)	m	0,28	0,47	0,60
			DIÂMETRO (MM)		
			32 (1 1/4")	40 (1 1/2")	50 (2")
			15141.8.28.4	15141.8.28.5	15141.8.28.6
01270.0.1.14	Ajudante de encanador	h	0,50	0,62	0,74
01270.0.24.1	Encanador	h	0,50	0,62	0,74
15141.3.27._	Tubo de aço galvanizado com costura para água/gás/fluidos não corrosivos ao aço e zinco	m	1,01	1,01	1,01
15143.3.5.1	Fita de vedação para tubos e conexões roscáveis (largura: 18 mm)	m	0,75	0,94	1,13
			DIÂMETRO (MM)		
			65 (2 1/2")	80 (3")	
			15141.8.28.7	15141.8.28.8	
01270.0.1.14	Ajudante de encanador	h	0,83	0,97	
01270.0.24.1	Encanador	h	0,83	0,97	
15141.3.27._	Tubo de aço galvanizado com costura para água/gás/fluidos não corrosivos ao aço e zinco	m	1,01	1,01	
15143.3.5.1	Fita de vedação para tubos e conexões roscáveis (largura: 18 mm)	m	1,41	1,60	

Fonte: Extraída de TCPO (2008).

- **Fôrma de madeira:** Considerou-se para 5 aproveitamentos.

Figura 81 - Composição de serviço da fôrma de madeira.

03110.8.1. FÔRMA de madeira maciça para pilares, com tábuas e sarrafos – unidade: m ²					
CÓDIGO	COMPONENTES	UNID.	CONSUMOS		
			APROVEITAMENTOS		
			1	3	5
			03110.8.1.12	03110.8.1.13	03110.8.1.14
*03110.8.19.7	Fabricação de fôrma de madeira maciça para pilares, com tábuas e sarrafos	m ²	1,00	0,333	0,20
*03110.8.20.4	Montagem de fôrma de madeira maciça para pilares, com tábuas e sarrafos	m ²	1,00	1,00	1,00
*03110.8.21.4	Desmontagem de fôrma de madeira maciça para pilares, com tábuas e sarrafos	m ²	1,00	1,00	1,00
COMPOSIÇÃO DETALHADA INCLUINDO A PRODUÇÃO DE INSUMOS					
01270.0.1.11	Ajudante de carpinteiro	h	0,64	0,367	0,312
01270.0.19.1	Carpinteiro	h	2,562	1,468	1,25
05060.3.20.11	Prego 17 x 21 com cabeça (comprimento: 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,15	0,05	0,03
06062.3.2.4	Pontaletes 3" x 3" (altura: 75,00 mm / largura: 75,00 mm)	m	3,20	1,066	0,64
06062.3.4.5	Sarrafo 1" x 3" (altura: 75 mm / espessura: 25 mm)	m	2,70	0,899	0,54
06062.3.5.2	Tábua 1" x 12" (espessura: 25 mm / largura: 300 mm)	m ²	1,45	0,483	0,29
03125.3.1.1	Desmoldante de fôrmas para concreto	l	0,10	0,10	0,10
05060.3.20.18	Prego 17 x 27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)	kg	0,20	0,20	0,20
05060.3.2.2	Arame galvanizado (bitola: 12 BWG)	kg	0,18	0,18	0,18

Fonte: Extraída de TCPO (2008).

ANEXO D – Preços de insumos definidos pelo SINAPI

Neste anexo apresenta-se a Figura 82 que mostra os índices dos preços de insumos definidos pelo SINAPI, que são utilizados para o cálculo dos preços dos insumos necessários para a implantação do biodigestor indiano.

Figura 82 - Preços de insumos fornecidos pelo SINAPI.

Código		Descrição do Insumo	Unid	Origem de Preço	Preço Mediano (R\$)
00007258		TIJOLO CERAMICO MACICO *5 X 10 X 20* CM	UN	CR	0,26
00010511		CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32 (SACO DE 50 KG)	50KG	C	17,90
00000366		AREIA FINA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	M3	C	65,38
00000370		AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	M3	C	61,67
00006076		SAIBRO PARA ARGAMASSA (COLETADO NO COMERCIO)	M3	C	54,68
00004721		PEDRA BRITADA N. 1 (9,5 a 19 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	M3	CR	58,75
00004718		PEDRA BRITADA N. 2 (19 A 38 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	M3	C	58,75
00000034		ACO CA-50, 10,0 MM, VERGALHAO	KG	CR	4,44
00000039		ACO CA-60, 5,0 MM, VERGALHAO	KG	CR	4,40
00020065		TUBO PVC SERIE NORMAL, DN 150 MM, PARA ESGOTO PREDIAL (NBR 5688)	M	CR	19,16
00021015		TUBO ACO GALVANIZADO COM COSTURA, CLASSE LEVE, DN 80 MM (3"), E = 3,35 MM, *7,32* KG/M (NBR 5580)	M	CR	63,35
00007701		TUBO ACO GALVANIZADO COM COSTURA, CLASSE MEDIA, DN 2.1/2", E = *3,65* MM, PESO *6,51* KG/M (NBR 5580)	M	CR	54,09
00021009		TUBO ACO GALVANIZADO COM COSTURA, CLASSE LEVE, DN 20 MM (3/4"), E = 2,25 MM, *1,3* KG/M (NBR 5580)	M	CR	13,96
00000337		ARAME RECOZIDO 18 BWG, 1,25 MM (0,01 KG/M)	KG	C	9,10
00007325		ADITIVO IMPERMEABILIZANTE DE PEGA NORMAL PARA ARGAMASSAS E CONCRETOS SEM ARMACAO	KG	CR	4,35
00040304		PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA DUPLA 17 X 27 (2 1/2 X 11)	KG	CR	10,83
00005068		PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA 17 X 21 (2 X 11)	KG	CR	8,78
00004417		SARRAFO DE MADEIRA NAO APARELHADA *2,5 X 7* CM, MACARANDUBA, ANGELIM OU EQUIVALENTE DA REGIAO	M	CR	4,48
00006212		TABUA MADEIRA 3A QUALIDADE 2,5 X 30,0CM (1 X 12) NAO APARELHADA	M	CR	14,89
00002692		DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	L	CR	5,19
00011026		CHAPA DE ACO GALVANIZADA BITOLA GSG 14, E = 1,95 MM (15,60 KG/M2)	KG	CR	7,12
00004750		PEDREIRO	H	C	14,00
00006111		SERVENTE DE OBRAS	H	C	9,15
00004230		OPERADOR DE MAQUINAS E TRATORES DIVERSOS (TERRAPLANAGEM)	H	CR	15,89

Obs: dimensões entre asteriscos (*) indicam a aceitação de medidas aproximadas.

Fonte: Adaptada de Caixa (2018).