

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEPARTAMENTO DE ELETROTÉCNICA

CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

JOÃO PAULO TOSCANO DA FONSECA DO LAGO LEITE

TAMIRES STEIL FERRAZ

**AUTOSSUFICIÊNCIA DE ENERGIA ELÉTRICA EM UNIDADES
DE PRODUÇÃO E TERMINAÇÃO DE SUÍNOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2016

JOÃO PAULO TOSCANO DA FONSECA DO LAGO LEITE

TAMIRES STEIL FERRAZ

**AUTOSSUFICIÊNCIA DE ENERGIA ELÉTRICA EM UNIDADES
DE PRODUÇÃO E TERMINAÇÃO DE SUÍNOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – DAELT – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Professor Dr. Roberto Candido

CURITIBA

2016

João Paulo Toscano da Fonseca do Lago Leite
Tamires Steil Ferraz

Autossuficiência de Energia Elétrica em Unidades de Produção e Terminação de Suínos

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

Curitiba, 14 de Junho de 2016.

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

Professora Annermarlen G. Castagna
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Prof. Dr. Roberto Candido
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Roberto Candido
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Gérson Máximo Tiepolo
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Ms. Márcio Aparecido Batista
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Às nossas famílias, que não mediram esforços para que
chegássemos a esta etapa de nossas vidas.

A Erivam Gazzola, in memoriam.

AGRADECIMENTOS

À Universidade pela oportunidade.

Aos professores pelo conhecimento e ensinamentos que nos passaram durante os anos de curso.

Ao nosso professor orientador Roberto Candido, que abraçou com dedicação a ideia deste trabalho, e nos incentivou e apoiou sempre firme da relevância deste estudo.

Aos nossos pais, pela força e apoio para que esse trabalho se concluísse.

“O segredo do sucesso é a constância do propósito”

(DISRAELI, Benjamin)

RESUMO

LEITE, João; FERRAZ, Tamires. **Autossuficiência em energia elétrica em Unidades de Produção e Terminação de Suínos**. 2016. 108 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

A conscientização da necessidade do desenvolvimento e aproveitamento de novas fontes de energia traz novas perspectivas e oportunidades para setores econômicos, como é exemplo o agroindustrial, que é um grande consumidor de energia elétrica. Em paralelo, a biomassa está respondendo por uma parcela cada vez maior da oferta interna de energia elétrica. O aproveitamento de passivos ambientais gerados na agroindústria para a geração de energia se enquadra neste novo cenário de busca por fontes alternativas. A presente pesquisa tem como objetivo analisar a viabilidade de implantação de sistemas de tratamento de dejetos suínos para geração de energia elétrica visando à autossuficiência da propriedade. Trata-se de uma análise quantitativa e financeira realizada com base na literatura e fornecedores para diferentes escalas de Unidades de Produção de Leitões (UPL) e Unidades de Terminação de Suínos (UT). Observou-se que autossuficiência em energia elétrica é possível para plantéis maiores que 1000 animais para UPL e maiores que 3500 animais para UT.

Palavras-Chave: Autossuficiência. Energia. Suinocultura. Biogás. Tratamento dos dejetos.

ABSTRACT

LEITE, João; FERRAZ, Tamires. **Self-sufficiency in electric power in Swine Production and Termination Units.** 2016. 108 p. Final Course Assignment (Bachelor in Electrical Power Engineering) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

The consciousness of the need of development and use of new energy sources shows new perspectives and opportunities for economic sectors like the agro industrial, which is a big electric power consumer. In parallel, biomass is responding each time for a greater share on the internal offer of electric power. The use of passives generated in the agro industrial sector for generating power is a good opportunity in this new scenario seeking alternative power sources. This thesis intends to analyse the viability for the implantation of pig manure treatment systems to generate power aiming the self-sufficiency of the property. It is a quantitative and financial analysis based on the literature and providers for different scales of Piglets Production Units (UPL) and Swine Termination Units (UT). The results show that self-sufficiency of electric power is possible for squads greater than 1000 animals for UPL and greater than 3500 animals for UT.

Key-words: Self-sufficiency. Energy. Pig farming. Biogas. Treatment of manure.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 – Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE).....	15
Figura 1-2 – Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE).....	15
Figura 2-1 – Evolução da Elasticidade-renda da demanda de energia total até 2050	26
Figura 2-2 – Mercado Mundial de Carne Suína.....	27
Figura 2-3 – Volume e Receitas das Exportações de Carne Suína em 2014 ..	29
Figura 2-4 – Projeção da Produção de Carne Suína para o Período de 2015 a 2025	29
Figura 2-5 – Modelo de Biodigestores desenvolvido pela Marinha Brasileira ..	41
Figura 2-6 – Modelo Simplificado do Biodigestor da Marinha do Brasil	42
Figura 2-7 – Esquema do Tratamento de Resíduos e seus Subprodutos.....	43
Figura 2-8 – Esquema Representativo do Aproveitamento do Biogás no Ajuricaba	59
Figura 3-1 – Gráfico da Variação do Preço Total do Biodigestor em relação ao Volume	75
Figura 3-2 – Gráfico da Variação dos Custos Unitários conforme Volume dos Biodigestores.....	75
Figura 3-3 – Gráfico do Retorno do Capital Investido	89
Figura 4-1- Tempo de Geração em relação ao Plantal para Unidades de Terminação (UT)	90
Figura 4-2 – Tempo de Geração em relação ao Plantel para Unidades de Produção de Leitões (UPL)	91
Figura 4-3 – Variação do CAPEX em Relação ao Número de Suínos para UT e UPL	92
Figura 4-4 – Variação do OPEX em Relação ao Número de Suínos para UT e UPL	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 – Projeção do crescimento anual do PIB	24
Tabela 2-2 – Índice de Custos de Produção de Suínos em setembro de 2015	30
Tabela 2-3 – Comparação do ICP Suíno de setembro de 2015 com o do mês anterior	31
Tabela 2-4 – Caracterização do Dejeito Suíno (Fezes + Urina).....	34
Tabela 2-5 – Padrões aceitáveis para lançamento de dejetos suínos em cursos d'água	35
Tabela 2-6 – Perdas do Nitrogênio nos diferentes Sistemas de Tratamento ..	36
Tabela 2-7 – Comparação do Biogás.....	45
Tabela 2-8 – Processos de limpeza do Biogás	46
Tabela 2-9 – Produção estimada de Biogás.....	47
Tabela 2-10 – Comparativo de Poder Energético de 1m ³ de Biogás	48
Tabela 3-1 – Produção de Biogás para Unidades de Terminação (UT).....	64
Tabela 3-2 – Produção de Biogás para Unidades de Produção de Leitões (UPL)	64
Tabela 3-3 – Consumo e Capacidade de Geração para Geradores a Biogás .	65
Tabela 3-4 – Geradores e Geração Anual para cada Cenário nas Unidades de Terminação (UT)	66
Tabela 3-5 – Geradores e Geração Anual para cada Cenário nas Unidades de Produção de Leitões (UPL).	67
Tabela 3-6 – Custo do Sistema de Geração para os diferentes Cenários de Unidades de Terminação (UT)	69
Tabela 3-7 – Custo do Sistema de Geração paa os diferentes Cenários de Unidades de Produção de Leitões (UPL)	70
Tabela 3-8 – Dimensão dos Geradores e Áreas dos Abrigos	71
Tabela 3-9 – Custo do Abrigo do Gerador para cada Cenário de Unidades de Terminação (UT)	72
Tabela 3-10 – Custo do Abrigo do Gerador para cada Cenário de Unidades de Produção de Leitões (UPL)	73
Tabela 3-11 – Orçamento de Biodigestores com preços referência 2011.....	74
Tabela 3-12 – Orçamento Atualizado dos Biodigestores	74
Tabela 3-13 – Valor Médio dos Itens a serem mantidos constantes	76
Tabela 3-14 – Valor Médio da Manta em R\$/m ³	77
Tabela 3-15 – Custo do Biodigestor para cada Cenário de Unidades de Terminação (UT)	77
Tabela 3-16 – Custo do Biodigestor para cada Cenário de Unidades de Produção de Leitões (UPL)	78
Tabela 3-17 – CAPEX para cada Cenário de Unidades de Terminação (UT)..	79
Tabela 3-18 – CAPEX para cada Cenário de Unidades de Produção de Leitões (UPL).....	79
Tabela 3-19 – OPEX para cada Cenário de Unidades de Terminação (UT)....	80

Tabela 3-20 – OPEX para cada Cenário de Unidades de Produção de Leitões (UPL).....	81
Tabela 3-21 – Perfil da Propriedade localizada em Cascavel/PR	83
Tabela 3-22 – Resultados obtidos para Gerador de 36 kVA.....	84
Tabela 3-23 – CAPEX e OPEX para o Sistema Proposto.....	84
Tabela 3-24 – Cargas Instaladas com Consumo mais representativo	85
Tabela 3-25 – Média do Consumo Mensal da Propriedade entre os anos de 2013 e 2015	86
Tabela 3-26 – Resultados obtidos para Gerador de 20 kVA.....	87
Tabela 3-27 – CAPEX e OPEX para o novo Sistema com Gerador de 20 kVA.....	87
Tabela 3-28- Cálculo do Tempo de Retorno de Capital para Sistema de 36 kVA	88
Tabela 3-29 – Cálculo do Tempo de Retorno de Capital para Sistema de 20 kVA.....	88
Tabela 4-1 – Consumo Anual necessário para Retorno de Capital em 5,10 e 15 anos para Unidades de Terminação (UT)	93
Tabela 4-2 – Consumo anual necessário para Retorno de Capital em 5,10 e 15 anos para Unidades de Produção de Leitões (UPL)	94

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 TEMA DE PESQUISA.....	14
1.1.1 Delimitação do Tema.....	18
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS.....	18
1.3 OBJETIVOS.....	19
1.3.1 Objetivo Geral.....	19
1.3.2 Objetivos Específicos.....	19
1.4 JUSTIFICATIVA.....	20
1.5 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	21
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	22
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	23
2.1 O CENÁRIO ENERGÉTICO BRASILEIRO NO PERÍODO 2015 - 2025.....	23
2.2 A SUINOCULTURA.....	27
2.2.1 A importância do Setor na Economia Brasileira.....	28
2.2.2 Impacto do Custo da Energia na Produção de Suínos.....	30
2.2.3 Resíduos Gerados e Seus Impactos Ambientais.....	32
2.3 ALTERNATIVAS PARA APROVEITAMENTO DE PASSIVOS AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS.....	37
2.3.1 Tecnologias de Tratamentos dos Resíduos.....	37
2.3.2 Subprodutos Gerados na Produção de Suínos.....	43
2.4 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS NO AGRONEGÓCIO.....	51
2.4.1 Balanços Energéticos Agropecuários.....	51
2.4.2 Tecnologias Utilizadas na Conversão do Biogás em Eletricidade.....	52
2.4.3 Exemplo de um Sistema de Geração de Eletricidade a partir do Biogás.....	54
2.4.4 O cenário da Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás no Mundo e no Brasil.....	56
3. ESTUDO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO TRATAMENTO DE RESÍDUOS SUÍNOS.....	60
3.1 A ESCOLHA DE UM BIODIGESTOR.....	60
3.2 CÁLCULO DO VOLUME DO BIODIGESTOR E DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS.....	62
3.3 ESCOLHA DO GERADOR E POTENCIAL DE GERAÇÃO.....	65

3.4 CUSTOS ASSOCIADOS	67
3.4.1 Escopo de Obra Elétrica	68
3.4.2 Escopo de Obra Civil	70
3.4.3 Escopo do Biodigestor	73
3.5 CÁLCULO DOS CUSTOS DE INVESTIMENTO.....	78
3.6 CÁLCULO DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO	80
3.7 CÁLCULO DE TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO	81
3.8 ESTUDO DE CASO	83
3.8.1 Potencial de Geração e Investimento	83
3.8.2 Consumo da Propriedade	84
3.8.3 Proposição de um Novo Sistema.....	86
3.8.4 Retorno do Capital Investido.....	87
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	90
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	95
APÊNDICE A – Apresentação dos Cenários.....	101
APÊNDICE B – Planilha Excel	106

1. INTRODUÇÃO

1.1 TEMA DE PESQUISA

A energia elétrica é fundamental para o desenvolvimento dos países e a qualidade de vida das pessoas. Quanto mais os países se desenvolvem, mais se torna necessário aumentar a produção de energia elétrica. Ao mesmo tempo, também é preciso preservar o meio ambiente, utilizando com consciência os recursos naturais. Por isso, além de ampliar a capacidade de geração de energia elétrica melhorando o aproveitamento de fontes convencionais, também é preciso desenvolver tecnologias para a utilização de novas fontes energéticas, as chamadas fontes alternativas de energia (ELETROBRÁS, 2015).

No Brasil, há o PROINFA, Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica. O resultado disso é um país que se destaca no cenário mundial como sendo um dos países em que a participação das fontes renováveis na matriz energética nacional é muito superior às fontes não renováveis.

Em 2013, 78,4% da energia elétrica ofertada internamente era de fontes renováveis e a biomassa respondia por 6,6% do total, assim como mostra a Figura 1.1 (MME, 2014).

Já, em 2014, a parcela de energias renováveis foi de 74,6%. A biomassa passou a responder por 7,3% da oferta interna de energia elétrica, conforme a Figura 1.2 (MME, 2015).

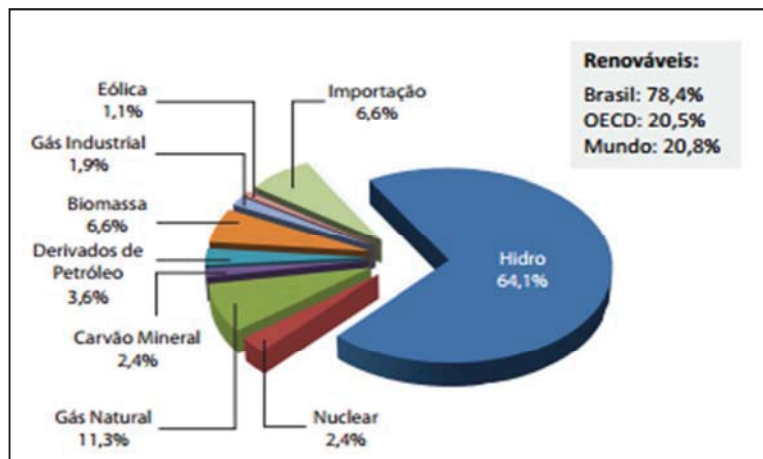


Figura 1-1 – Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE).
 Fonte: MME, 2014.

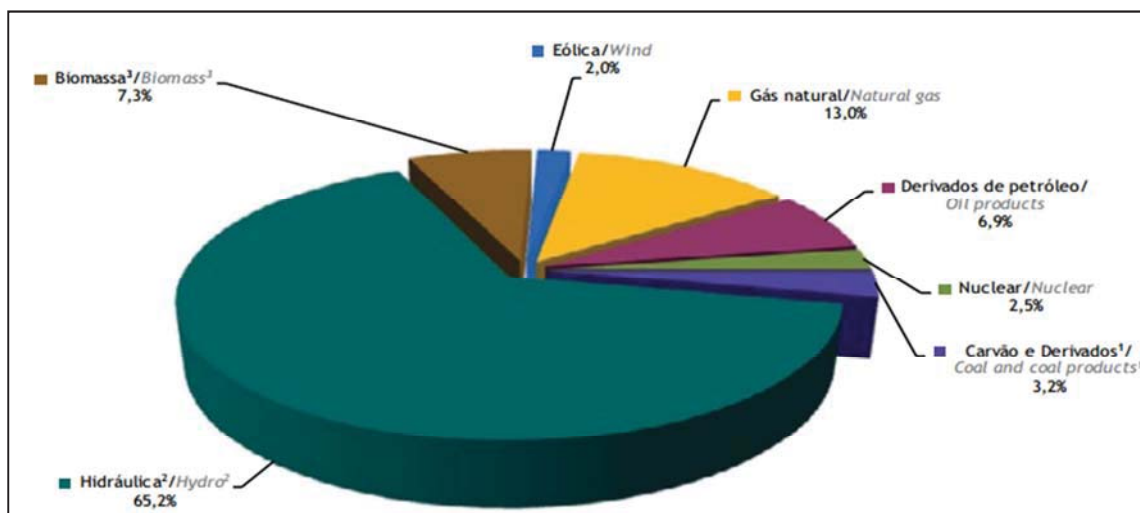


Figura 1-2 – Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE).
 Fonte: MME, 2015.

Em um país em desenvolvimento como o Brasil, a biomassa ganha representatividade dentro de nossa matriz energética. Assim, com a crescente preocupação com o meio ambiente, justificam-se novos estudos sobre como gerar energia elétrica de maneira menos impactante ao meio ambiente e de maneira mais efetiva e barata.

Entre os diversos setores de nossa economia em que poderia se utilizar da biomassa como fonte principal de energia, está a suinocultura, que consome valores representativos de energia elétrica e que é agressiva ao meio ambiente, quando os dejetos são mal administrados.

Atualmente, a produção de suínos no Brasil é feita com alta tecnologia, manejo da produção e certificação de qualidade, ocorrendo na maioria dos casos em propriedades pequenas e médias. Os produtores independentes detêm 25% da produção total brasileira e este cenário se deve a uma grande revolução tecnológica neste ramo, ocorrido a partir da década de 1990. Hoje o setor tem grande importância na nossa economia, gerando emprego para cerca de 730 mil pessoas e renda para cerca de 2 milhões de propriedades (ROPPE, 2002), destacando-se como as maiores produtoras da região Sul (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), representando 50% da produção nacional (DERAL, 2013).

A precariedade no manejo dos dejetos gerados em uma criação de suínos é causa de contaminação do solo e de lençóis freáticos. Os resíduos de suinoculturas são compostos por altas cargas de nutrientes, matéria orgânica, sedimentos, patógenos, hormônios, antibióticos, além de metais pesados, como cobre e zinco utilizados nas rações oferecidas aos animais para acelerar o crescimento (KUNZ et al., 2005).

Dentre as práticas disponíveis para tratamento dos resíduos, como esterqueiras ou lagoas de tratamentos, a utilização de biodigestores é uma tecnologia que tem sido bastante estudada e desenvolvida e que agrega ao valor ambiental, a possibilidade de geração de energia (KUNZ et al., 2005).

Os dejetos suínos, que antes eram vistos como problemas ambiental e financeiro, hoje são vistos como uma fonte de riqueza. Com o devido tratamento dos dejetos, obtém-se o biogás e, como produto residual, o biofertilizante (ISHIZUKA, 1997).

O biogás, além de possibilitar a autossuficiência da granja em energia elétrica, pode garantir um ganho extra com a venda do excedente da energia gerada. Ainda, ele pode ser utilizado para geração de calor para aquecimento de caldeiras e ambientes, como a creche da granja. Já o biofertilizante, que é obtido como um produto final da biodigestão anaeróbica, pode ser utilizado em diversos tipos de culturas praticadas dentro da mesma propriedade rural como, por exemplo, a cultura do milho, se tornando uma economia para o produtor (KONZEN, 2000).

A geração de energia a partir do biogás é um tipo limpo e renovável, em que o biogás é obtido a partir da decomposição de matéria orgânica. Ele é composto em torno de 95% por metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) e 5% por outros gases. Dentre esses 95%, o metano corresponde por 55 a 65%. Esses dois gases, gás metano e dióxido de carbono, são conhecidamente agressores ao meio ambiente (CARREAS, 2013).

Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos de 2011, no Brasil há aproximadamente 38 milhões cabeças de suínos, que produzem em média, 20 milhões de toneladas de dejetos por ano, o que poderia gerar cerca de 1,1 GWh por ano (MMA, 2011).

No interior do estado do Paraná, o conhecido programa do Parque Tecnológico Itaipu faz a integração de diversos pequenos produtores de suínos, ajudando-os com a geração de energia elétrica e incentivando-os a investir em sustentabilidade, visando transformar os dejetos em ativo financeiro.

Em 2009, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) introduziu um cenário novo para a geração de energia elétrica a partir do biogás com saneamento ambiental através da reforma do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional). A Agência publicou a Instrução Normativa 390/09, que se refere exclusivamente à Geração Distribuída com Biogás e saneamento ambiental.

A partir desta determinação, o biogás foi colocado como um produto oficial no meio do setor elétrico e a Itaipu Binacional fomenta a inserção deste na matriz energética brasileira, como sendo um produto capaz de promover o desenvolvimento econômico, gerando renda para os produtores, o desenvolvimento humano e social, proporcionando melhores condições de trabalho para os empregados de produtoras e melhorando a condição de vida de todos os envolvidos na geração, e por fim, o desenvolvimento ambiental, deixando de liberar na atmosfera o gás metano e o dióxido de carbono (BLEY JR., 2015).

1.1.1 Delimitação do Tema

O sistema de geração de energia elétrica a partir do tratamento de dejetos suínos mostra muitas vantagens, porém o produtor não sabe a partir de que tamanho de plantel é viável. O tema deste trabalho será focado na análise deste ponto de equilíbrio entre a viabilidade e a inviabilidade da implantação deste sistema, visando à autossuficiência da propriedade.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Com a crescente conscientização ambiental a nível mundial, fontes alternativas de energia são as que ganham maior espaço no desenvolvimento de tecnologias de geração, a exemplo do biogás.

O biogás pode ser obtido principalmente a partir do tratamento de resíduos agropastoris e tem se tornado uma possível solução para contribuir na minimização deste cenário econômico recessivo.

O Brasil pode estar na vanguarda com a exploração deste tipo de fonte energética, pois possui um dos maiores plantéis de animais do mundo, entre eles o de suínos. Porém, a pergunta a ser respondida de forma simples e direta ao produtor é “Quando que a geração de energia através de resíduos suínos é viável para a propriedade?”.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Determinar um conjunto de informações em diferentes cenários visando à autossuficiência em energia elétrica das propriedades através da implantação de um sistema de aproveitamento do biogás da suinocultura.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar pesquisa que permita descrever o cenário dos próximos dez anos da geração de energia brasileira e o uso de biogás;
- Levantar a estrutura e custos de um sistema de geração de energia elétrica a partir do tratamento dos dejetos de suínos, desde os biodigestores até os geradores a Biogás;
- Levantar a capacidade de geração de uma propriedade em função do número de cabeças no plantel;
- Analisar os custos de operação e manutenção do sistema;
- Desenvolver um conjunto de índices que seja orientativo ao produtor na definição de implantar um sistema de geração a partir de biogás numa propriedade de produção de suínos.

1.4 JUSTIFICATIVA

Visto que o Brasil tem grande parte de sua economia voltada para a agropecuária, a pesquisa sobre seus resíduos e a obtenção de biogás ajuda a compreender como essas propriedades podem se tornar autossustentáveis em energia elétrica, além de obter ganhos indiretos deste sistema com ações paralelas à atividade produtiva exercida.

“Quando um produtor rural e também consumidor de energia instala pequenos geradores, a partir de biodigestão, e começa a produzir energia elétrica, térmica ou automotiva suficientes para abastecer sua propriedade e ainda vender excedentes para as redes de distribuição, todo um modelo de energia começa a mudar.” (BLEY JR., 2015, Contra Capa).

A suinocultura é uma atividade reconhecida por sua agressão ao meio ambiente, uma vez que seus dejetos tem um alto efeito poluidor, com a liberação de gases que ampliam o efeito estufa, como o metano e o dióxido de carbono, e também pela poluição de mananciais (INOUE, 2013). O modelo de geração de energia elétrica aproveitando os dejetos auxilia na diminuição desses efeitos poluidores.

Inseridos nessa realidade, a engenharia elétrica e os estudos sobre fontes alternativas de energia ganham espaço e importância. Os resultados apresentados podem mostrar ao produtor qual é o ponto em que o investimento na obtenção de um sistema de geração de energia elétrica a partir do tratamento dos resíduos se torna vantajoso. Dessa maneira, um pequeno produtor poderia analisar se a quantidade de biogás gerada a partir de seu plantel é capaz de garantir a autossuficiência em energia elétrica.

Esse trabalho propõe a busca pela autossuficiência de energia elétrica da propriedade, possibilitando ao produtor a concentração de esforços na melhoria de suas atividades, minimizando preocupações fora do seu negócio. Além disso, a autossuficiência pode lhe dar diferenciais competitivos face à preocupação mundial com o meio ambiente.

1.5 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Primeiramente, para o referencial teórico, foi feita pesquisa em trabalhos acadêmicos, artigos, revistas técnicas e livros, permitindo descrever o cenário energético dos próximos dez anos no Brasil e conhecer conceitos de geração de energia elétrica através do biogás.

Apresentou-se um levantamento da estrutura do sistema de geração de energia elétrica a partir do tratamento dos dejetos de suínos, desde os biodigestores até os geradores a biogás, analisando-o economicamente com os seus custos associados, tanto de implantação como de manutenção.

A partir dos estudos, foi criado método de cálculo que mostra a capacidade de ser autossuficiente em energia elétrica a partir de dados de geração de biogás para diferentes cenários de produção. Foi apresentada uma ferramenta que possibilita que o produtor saiba em quanto tempo ele terá o retorno do investimento, dependendo do consumo da sua propriedade.

A fim de validar os estudos, foi feita a análise de caso de uma propriedade em Cascavel, no estado do Paraná.

Além do estudo da teoria, foi realizada uma visita técnica a uma propriedade que possui o sistema de geração de eletricidade a biogás, além de utilizar este biogás para outros fins. Também foram feitas entrevistas com profissionais da área e produtores, e consultas a fornecedores de equipamentos.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos:

- O primeiro capítulo apresenta a introdução, que consiste na descrição do tema de pesquisa, os problemas e premissas, objetivos, justificativa, procedimentos metodológicos, estrutura do trabalho.
- O segundo capítulo é composto pelo referencial teórico, sendo apresentados um estudo do cenário energético brasileiro previsto para os próximos dez anos, o cenário da produção de suínos no Brasil e seus impactos ambientais, o tratamento dos resíduos e meios de obtenção do biogás, características qualitativas do biogás e suas utilizações na suinocultura, e o processo de geração de energia elétrica a partir do biogás.
- O terceiro capítulo exibe um estudo de custos de implantação, operação do sistema de tratamento de dejetos suínos e geração de energia elétrica com a respectiva análise de viabilidade econômica do sistema.
- No quarto capítulo constam os resultados e discussões.
- No quinto capítulo são mostradas as conclusões feitas a respeito da possibilidade de autossuficiência em energia elétrica para os diferentes cenários.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 O CENÁRIO ENERGÉTICO BRASILEIRO NO PERÍODO 2015 - 2025

A energia elétrica é um parâmetro básico de qualidade de vida, uma vez que cria condições necessárias para educação, saúde, produção, conforto e segurança, portanto para o desenvolvimento econômico de um país.

Um país que dispõe de energia de baixo custo e de baixo impacto ambiental com certeza apresenta vantagens quando comparado aos outros, quanto à escolha de empresas para alocação de suas plantas industriais, o que influencia diretamente em sua competitividade econômica (TOLMASQUIM et al., 2007).

A situação da oferta nacional de eletricidade vivenciada nos últimos anos é crítica. A falta de planejamento e a crise hídrica culminaram na defasagem entre a demanda e a capacidade de geração. A produção de energia elétrica gerada por meio de fontes hidráulicas ficou abaixo do normal, e com o objetivo de suprir esta falta intensificou-se a utilização de fontes térmicas movidas a combustíveis fósseis. A geração a partir de termelétricas é uma fonte de energia de custo elevado e seu emprego como complemento das hidrelétricas resultou no aumento das tarifas aplicadas ao consumidor residencial e industrial.

Este cenário deve influenciar no desenvolvimento de fontes alternativas de energia, mais baratas e menos prejudiciais ao meio ambiente, as quais possam substituir o uso de termelétricas na complementação das hidrelétricas e até mesmo de forma a se tornarem significativas dentro da matriz elétrica brasileira. Uma projeção realizada para o ano de 2050 prevê 91,1 % de participação das energias renováveis na oferta de eletricidade no Brasil, o que poderá consolidar o país como uma potência em energia renovável (BAITELO et al., 2014).

Quanto ao cenário energético mundial, as perspectivas para 2035 apresentadas pela Agência Internacional de Energia, ratificam que a participação na oferta de energia das fontes renováveis deve superar a do

petróleo, sendo que a oferta de energia proveniente de origem fóssil deve ser reduzida em aproximadamente 10% até 2035 (ERBER, 2010).

Referindo-se à demanda de energia no Brasil, existem dois principais fatores que induzem o crescimento energético, sendo eles: o crescimento econômico e o crescimento populacional.

A população brasileira, em estimativas apresentadas pela Agência Internacional de Energia, deve crescer nas mesmas proporções da América Latina, porém com menos proeminência se comparado com outros países em desenvolvimento, sendo esperado um total de aproximadamente 223 milhões de habitantes em 2050. Isto resulta em uma estabilização esperada do crescimento populacional do país, com um valor médio de 0,64% ao ano, fato que é positivo do ponto de vista da demanda de recursos energéticos e ambientais (BAITELO et al., 2014).

A relação existente entre o Produto Interno Bruto (PIB) de um país e sua demanda energética é dada através da intensidade energética, sendo que em países em desenvolvimento esta correlação é geralmente alta. O histórico dos anos de 1970 até 2004, analisado pelo Ministério de Minas e Energia, mostra um fator de intensidade energética no Brasil de valor 0,82. Este valor legitima a forte relação entre o consumo energético e o crescimento econômico de um país (BRONZATTI et al., 2008).

A Tabela 2.1 exibe a projeção de crescimento anual do PIB no Brasil até o ano de 2050, em um estudo realizado pelo Banco Itaú em 2012.

Tabela 2-1 – Projeção do crescimento anual do PIB

Período de Referência	Crescimento anual do PIB
2011 - 2015	3,70 %
2016 - 2020	3,50 %
2021 - 2030	2,50 %
2031 - 2040	2,50 %
2041 - 2050	2,50 %

Fonte: Adaptado de BAITELO et al. (2014)

Estas perspectivas permitem projetar o consumo energético no Brasil para os próximos anos. Entretanto, visto que a economia depende de diversos fatores flutuantes que a tornam instável, projeções mudam constantemente. Isso se confirma em novo estudo elaborado pelo Banco Itaú em 2016, no qual as projeções para o período até 2015 não se confirmaram, uma vez que houve redução do crescimento do PIB nesse período. Este estudo também prevê um cenário menos otimista para o período de 2016 a 2020.

De acordo com estudos elaborados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o indicador elasticidade-renda da demanda de energia deve, até 2020, apresentar um pico máximo em sua evolução e depois, até 2050, seguir uma trajetória decrescente, conforme Figura 2.1. Para a demanda de energia no período 2013-2050, estes estudos estimam que a demanda total de energia deva aumentar pouco mais de duas vezes, destacando-se nestas estimativas de crescimento, o gás natural e a eletricidade (EPE, 2014).

Também, para um cenário projetado até o ano de 2050, as análises realizadas pela EPE indicam o crescimento do setor agropecuário acima da média do PIB, estimando que esse setor deva apresentar maior participação dos estudos de tecnologia e inovação relacionados ao seu desenvolvimento. Dessa forma, o aumento da produtividade no setor agropecuário deve resultar em um crescimento da demanda de energia em uma média de 2% ao ano, no período 2013-2050, destacando-se a eletricidade (EPE, 2014).

A previsão para o período 2013-2050 é que a participação da autoprodução, aquela em que a empresa produz energia elétrica para seu uso exclusivo, no consumo total de eletricidade no Brasil aumentará de 10% para 12% até 2020, apresentando posteriormente uma queda gradual até 2050, quando deverá representar em torno de 8% do consumo total (EPE, 2014).

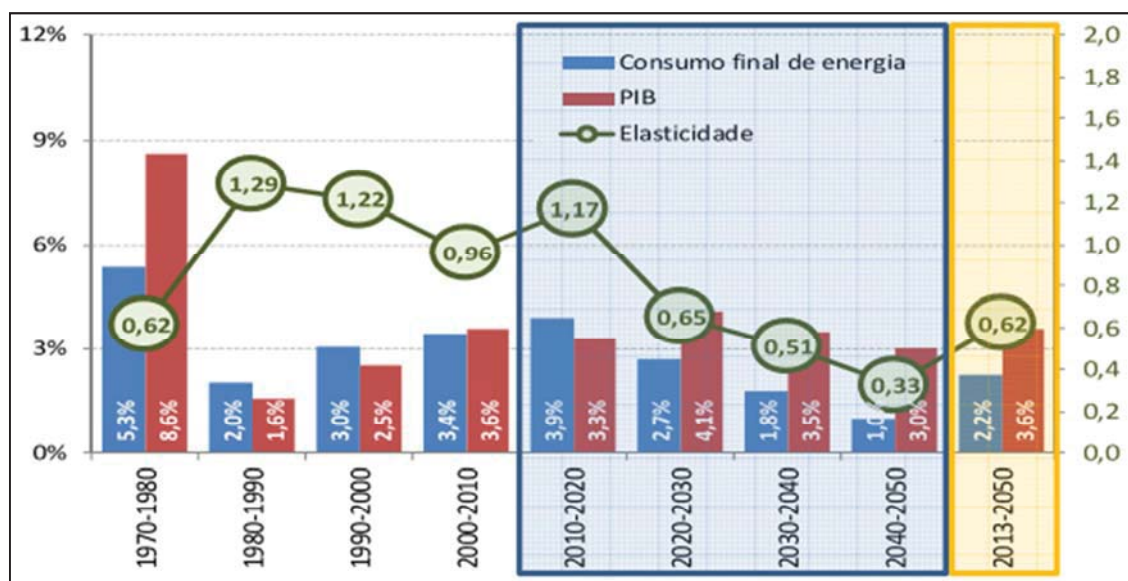


Figura 2-1 – Evolução da Elasticidade-renda da demanda de energia total até 2050
Fonte: EPE (2014)

Além do crescimento do consumo energético e das mudanças previstas na oferta de energia no Brasil, devem ocorrer evoluções no Sistema Interligado Nacional (SIN). Dados do Operador Nacional do Sistema (ONS) mostram que os sistemas de transmissão conectavam, em 2011, em torno de 96% da carga nacional. Dessa maneira, para o futuro cenário energético brasileiro, devem ser previstos também crescimentos na malha de transmissão e distribuição de energia elétrica no país (VIEIRA, 2011).

Por último, cabe destacar o avanço da geração distribuída, na qual plantas de geração de energia elétrica podem ser conectadas diretamente à rede de distribuição, quando a potência instalada não ultrapassa o limite definido por cada concessionária, normalmente até 1 MW. Esta possibilidade cria um cenário propício ao desenvolvimento de geradores de menor porte baseados em fontes renováveis (VIEIRA, 2011).

2.2 A SUINOCULTURA

A carne suína é a mais consumida no mundo. Dentre os maiores produtores e exportadores do produto se destacam a China, a União Europeia, os Estados Unidos e o Brasil (SOUZA et al., 2011).

A Figura 2.2 exibe um panorama do mercado mundial de carne suína no ano de 2014.

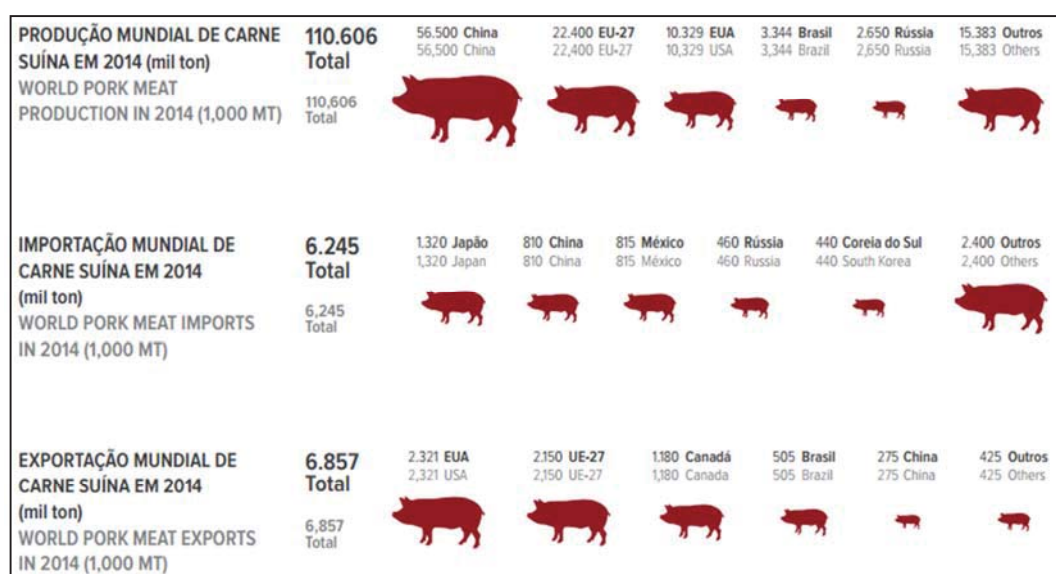


Figura 2-2 – Mercado Mundial de Carne Suína
Fonte: ABPA (2014)

O Brasil se sobressai dentre os demais produtores, pois possui um dos menores custos de produção de carne suína, uma vez que os grãos utilizados na fabricação da ração destinada aos animais, soja e milho, são produzidos no próprio país, não havendo necessidade de importação. Além do baixo custo de produção, a suinocultura brasileira apresenta vantagens como condições ambientais e climáticas ótimas para a criação de suínos. Também, no país estão disponíveis tecnologias e processos inovadores, assim como controle sanitário eficaz (SIMON, 2004).

2.2.1 A importância do Setor na Economia Brasileira

A maior concentração da suinocultura no Brasil está na região sul do país, sendo o estado de Santa Catarina o principal produtor, seguido do Rio Grande do Sul e Paraná. É nesta região que predominam as agroindústrias e o sistema de produção integrada, no qual os produtores recebem das agroindústrias os alimentos, medicamentos e orientação técnica, garantindo a elas a venda de seus animais. Nas regiões sudeste e centro-oeste predomina a criação independente, onde o produtor é responsável por todas as etapas da produção, desde o nascimento até o abate, não possuindo quaisquer vínculos com agroindústrias (SIMON, 2004).

A atividade suinícola no Brasil exerce influência social e econômica nas regiões onde se estabelece, sendo um meio de geração de emprego na zona rural. Ela também viabiliza o desenvolvimento de pequenos e médios produtores agrícolas, fixando a população nessas regiões e contribuindo para a redução de fluxos migratórios (SILVA et al., 1998).

A suinocultura vem apresentando ciclos alternados de resultados positivos e negativos em média a cada dois anos. Um exemplo de ciclo negativo do setor foi a crise de 2002 e 2003, na qual a queda nos preços de exportação e o aumento do custo de grãos resultou em grande prejuízo aos suinocultores, havendo descartes de matrizes e inclusive o fechamento de uma grande agroindústria em Chapecó – SC (MIELE et al., 2006).

É possível confirmar a importância do setor na economia e no desenvolvimento social das regiões produtoras, haja vista que nestes anos de forte crise houve significativas reduções de emprego, abandono da atividade suinícola por parte de pequenas propriedades e diversos suicídios registrados entre produtores (SIMON, 2004).

No ano de 2014, a suinocultura apresentou bons resultados no país, tendo as exportações de carne suína rendido aos produtores nacionais cerca de 1,4 bilhões de dólares. No mesmo ano, o valor pago pela carne suína nas operações de exportação chegou a quatro dólares o quilo, como é possível observar na Figura 2.3 (CEPEA, 2014).

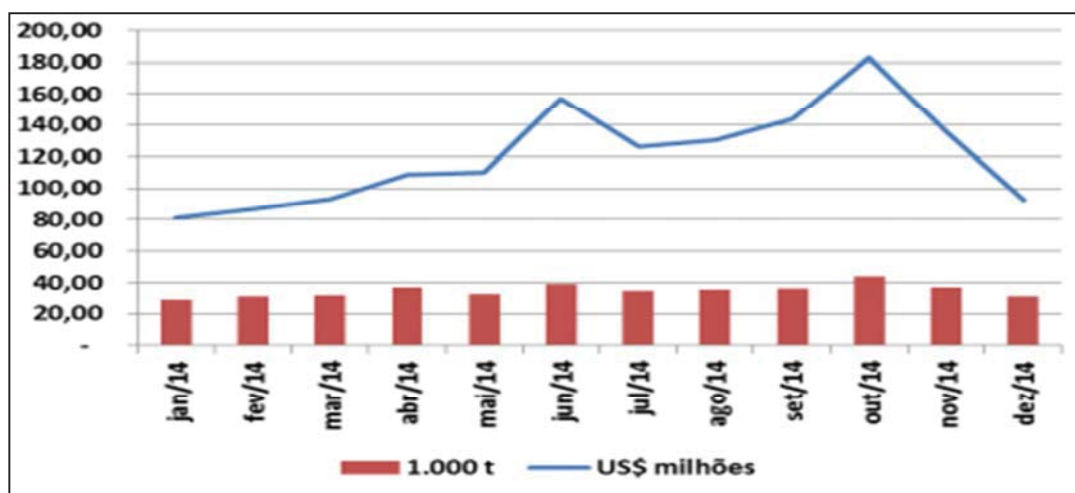


Figura 2-3 – Volume e Receitas das Exportações de Carne Suína em 2014
Fonte: CEPEA (2014)

Projeções realizadas pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) mostram a estimativa de crescimento anual da produção de carne de suínos até o ano de 2025, sendo esperada uma média de desenvolvimento de 2,9 % ao ano, com alcance de 4.7 milhões de toneladas produzidas em 2025, verificado na Figura 2.4. Os valores de Lsup se referem aos limites do intervalo de confiança das projeções a 95% (MAPA, 2015).

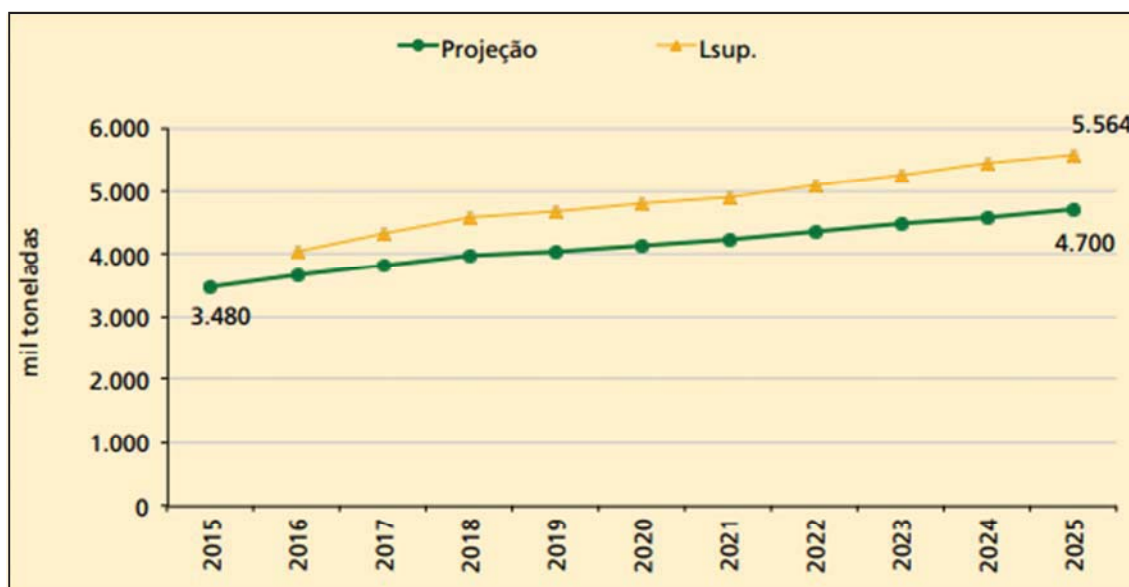


Figura 2-4 – Projeção da Produção de Carne Suína para o Período de 2015 a 2025
Fonte: MAPA (2015)

2.2.2 Impacto do Custo da Energia na Produção de Suínos

Assim como qualquer empreendedor, o produtor de suínos possui investimentos fixos mensais em sua propriedade, como quadro de funcionários, instalações, equipamentos, medicamentos, ração para os animais e, lógico, energia elétrica.

Uma ferramenta existente para a medição e análise da variação dos custos de uma suinocultura é o Índice de Custos de Produção de Suínos da Embrapa (ICPSuíno/Embrapa). De acordo com esta análise, a composição do ICP Suíno em setembro de 2015 foi distribuída conforme a Tabela 2.2.

Tabela 2-2 – Índice de Custos de Produção de Suínos em setembro de 2015

Setor	Parcela Correspondente
Nutrição	76,47 %
Instalações, Equipamentos, Rebanho	7,54 %
Transporte	4,71%
Mão de Obra	3,99 %
Manutenção, Financeiro	3,37 %
Diversos, Outros	2,19 %
Sanidade	1,03 %
Energia Elétrica	0,70 %

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2015)

Dessa forma verifica-se que dentro de uma propriedade de criação de suínos o gasto mensal com energia elétrica equivale a 0,70 % do custo total da produção.

Ainda de acordo com o ICP Suíno de setembro de 2015, os custos com energia elétrica aumentaram em 0,10% quando comparados com o mês anterior, valor verificado na Tabela 2.3.

Tabela 2-3 – Comparação do ICP Suíno de setembro de 2015 com o do mês anterior

Setor	Aumento Percentual
Nutrição	3,96 %
Manutenção, Financeiro	0,17 %
Instalações, Equipamentos, Rebanho	0,11 %
Energia Elétrica	0,10 %
Diversos, Outros	0,08 %
Transporte	0 %
Mão de Obra	0 %
Sanidade	-0,01 %

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2015)

Apesar de não parecer significativo, o aumento do custo com energia elétrica na produção de suínos entre o mês de agosto e setembro de 2015 representa um gasto adicional para o produtor, o que incontestavelmente não é desejado.

Analisando de forma superficial, ao investir em um sistema de geração própria de energia elétrica, por exemplo, através do uso do biogás obtido do tratamento dos resíduos dos suínos, um produtor é capaz de eliminar o custo mensal com energia elétrica, seja 0,70%, de seu orçamento. Além disso, o excedente de energia pode ser vendido no mercado livre ou, inclusive, ser utilizado para o abastecimento de uma fábrica própria de ração, a exemplo da Granja Colombari (BLEY JR., 2015).

Uma fábrica de ração, mesmo em escala pequena, seria economicamente inviável devido aos custos da energia elétrica necessária para a operação. Como pode ser observado na Tabela 2.2, o maior gasto de um produtor de suínos é relativo à nutrição, onde se inclui a compra de ração destinada aos animais. Porém, utilizando o biogás para ser convertido em energia elétrica seria possível alimentar a fábrica, o que geraria uma economia nos gastos muito considerável e um possível lucro (BLEY JR., 2015).

2.2.3 Resíduos Gerados e Seus Impactos Ambientais

A suinocultura é uma atividade agropecuária de grande potencial poluidor, uma vez que seus efluentes geram elevado número de contaminantes, que podem não tão somente afetar os recursos hídricos, mas também o ar e o solo. Porém, o criador é mais preocupado com fatores que podem afetar diretamente seus animais, do que com aqueles que podem influenciar a economicidade e operacionalidade do sistema, sem contar outros que estão relacionados com o desempenho e saúde tanto dos animais como dos tratadores (PERDOMO et al., 2001).

Dentre as consequências de um mau dimensionamento da produção e também da falta de preocupação com os fatores mostrados acima, podemos citar um aumento de doenças associadas à perda da qualidade do ar, a poluição de mananciais e rios, a redução de seu desempenho, e a degradação ambiental (PERDOMO et al., 2001).

Quando os dejetos suínos não recebem um tratamento adequado e são diretamente lançados à natureza, o risco de um desequilíbrio ambiental é muito elevado. Além disso, o desempenho zootécnico do suíno pode ser afetado e o tratador ficar incapacitado de exercer sua função (PERDOMO et al., 2001).

Embora tenha havido um grande aumento nos investimentos de tecnologias de armazenagem e distribuição dos dejetos, a contaminação não necessariamente diminuiu, uma vez que armazenagem e distribuição não significam tratamento.

A implantação de um sistema adequado de tratamento dos dejetos suínos requer um investimento significativo – as etapas de captação, transporte, armazenagem e distribuição também devem ser considerados - que muitas vezes pode ser alto para pequenos produtores, além de requerer também um considerável conhecimento na utilização das técnicas. Esses conhecimentos necessários ajudam na hora do dimensionamento e aproveitamento do sistema para o controle de poluição, o que agrega valor agrônômico na produção (PERDOMO et al., 2001).

2.2.3.1 Caracterização dos resíduos

Os dejetos suínos não são constituídos unicamente pelos excrementos desses animais. Neles estão presentes também resíduos de ração, pelos, poeira, água desperdiçada pelos bebedouros e pela higienização, entre outros (BIPERS, 2002).

A composição dos dejetos varia consideravelmente conforme o sistema de manejo adotado e a quantidade de água e nutrientes presentes, o que faz com que a concentração dos componentes varie. Dentre esses componentes estão matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, manganês, ferro, zinco, cobre e outros elementos que podem ser incluídos nas dietas dos animais (BIPERS, 2002).

A tabela abaixo faz uma análise das características dos dejetos suínos, considerando-se 1000 kg de peso vivo.

Tabela 2-4 – Caracterização do Dejeto Suíno (Fezes + Urina)

Parâmetro		Unidade	Valor
Volume	Urina	kg	39
	Fezes	kg	45
Densidade		kg/m ³	990
Sólidos	Totais	kg	11
	Voláteis	kg	8,5
DBO5		kg	3,1
DQO		kg	8,4
PH			7,5
Nitrogênio	Total	kg	0,52
	Amoniacal	kg	0,29
Fósforo	Total	kg	0,18
Potássio	Total	kg	0,29
Minerais	Cálcio	kg	0,33
	Magnésio	kg	0,07
	Enxofre	kg	0,076
	Sódio	kg	0,067
	Cloro	kg	0,26
	Ferro	kg	0,016
	Manganês	kg	0,0019
	Zinco	kg	0,005
	Cobre	kg	0,0012
	Coliforme	Total	Colônia
Fecal		Colônia	18x10 ¹⁰

Fonte : Adaptado de BIPERS (2002)

2.2.3.2 Poder poluente dos dejetos

A partir de 1991, o Ministério Público Brasileiro passou a dar maior importância ao cumprimento da lei ambiental em vigência, aplicando advertências, multas e até mesmo fechando granjas que não cumprem padrões exigidos de controle dos dejetos (BIPERS, 2002).

A FEPAM, Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul, possui padrões de exigência dos níveis de nutrientes e coliformes fecais aceitáveis para o lançamento do dejetos suíno em cursos d'água. Esses valores são apresentados na Tabela 2.5.

Tabela 2-5 – Padrões aceitáveis para lançamento de dejetos suínos em cursos d'água

Variáveis	Quantidade
Coliformes Fecais	1%
Fósforo Total	1,0 mg/L
Nitrogênio Total	10,0 mg/L
Cobre	0,5 mg/L
Zinco	1,0 mg/L

Fonte: Adaptado de BIPERS (2002)

Para se determinar a qualidade de um efluente, alguns parâmetros de controle confiáveis e seguros devem ser adotados. Para o caso do dejetos suíno, dentre os parâmetros mais importantes estão: a Demanda Química de Oxigênio (DQO-mg/l), a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO – mg/l), a quantidade de Sólidos Totais, Sólidos Voláteis e quantidade de nutrientes (BIPERS, 2002).

2.2.3.4 Principais impactos ambientais

Apesar dos gases, vapores e poeiras da suinocultura comprometerem a saúde das pessoas que vivem ao redor, e corroer equipamentos e edificações, o maior poder degradante dos dejetos suínos se encontra nos elevados níveis de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, sais e bactérias (PERDOMO et al., 2001).

Os dejetos suínos podem afetar a qualidade do ar através de concentrações elevadas de gases como a amônia, o dióxido de carbono e o hidrogênio sulfídrico.

A concentração elevada de amônia no ambiente de uma produção suinícola afeta o ganho de peso do animal. (DRUMMOND et al., 1980) Sua detecção no ar é fácil, uma vez que esse gás exala odor forte quando encontrado a uma concentração acima de 5 ppm. A partir de uma concentração acima de 50 ppm, ele já passa a afetar o crescimento e a saúde dos animais. O máximo recomendado é de 10 ppm. (PERDOMO et al., 2001).

Já a concentração do dióxido de carbono (CO₂) é indicada para ser no máximo de 3500 ppm. Um suíno de 50 kg pode produzir cerca de 450 kg de CO₂ ao ano (TAMMINGA et al., 1992).

Quanto ao hidrogênio sulfídrico, sua concentração máxima recomendada é de 20 ppm, sendo que em proporções entre 50 e 200 ppm pode acarretar problemas aos animais (PERDOMO et al., 2001).

Analogamente aos seus prejuízos para a qualidade do ar, os dejetos suínos também podem afetar a qualidade da água e do solo.

O nitrogênio e o fósforo são os nutrientes considerados de maior poder poluente dos recursos hídricos. A concentração destes nutrientes nos dejetos suínos varia conforme a dieta adotada, sendo a concentração do nitrogênio a mais preocupante. Este nutriente, quando encontrado em grande concentração, limita o desenvolvimento da maioria das culturas (PERDOMO et al., 2001).

O interessante para uma menor poluição é obter formas de tratamento dos dejetos que possam reduzir o nível de nitrogênio presente.

A Tabela 2.6 abaixo mostra as perdas de nitrogênio em diferentes sistemas de tratamento.

Tabela 2-6 – Perdas do Nitrogênio nos diferentes Sistemas de Tratamento

Sistema	Perda de N (%)
Lagoa Anaeróbica	70 a 85
Esterqueira	20 a 40
Aspersão	15 a 40
Distribuição	
Líquida	10 a 25
Sólida	15 a 30
Injeção ou Incorporação Imediata	1 a 5

Fonte: Adaptado de USDA (1994)

Quanto aos impactos do suíno causados diretamente ao solo, pode-se dizer que sua intensidade varia conforme o tempo de ocupação da área. O recomendado é 2 anos, porém este tempo pode oscilar dependendo da qualidade do solo local e do nível de precipitação pluviométrica (PERDOMO et al., 2001).

2.3 ALTERNATIVAS PARA APROVEITAMENTO DE PASSIVOS AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS

É extremamente necessário que existam preocupações em racionalizar o uso das fontes de energia, preservando o meio ambiente e garantindo a sustentabilidade das atividades produtivas, sendo assim, novas tecnologias precisam ser desenvolvidas e aplicadas nos mais diversos segmentos produtivos.

2.3.1 Tecnologias de Tratamentos dos Resíduos

Conforme já apresentado anteriormente, a suinocultura é uma atividade agrícola consideravelmente danosa ao meio ambiente, gerando resíduos que poluem águas e solos, além de emitirem gases que intensificam o efeito estufa. Com o desenvolvimento e crescimento desta atividade, juntamente com a crescente preocupação ambiental, foram surgindo tecnologias e estudos que viram esses resíduos como uma potencial fonte energética, que pode ser aproveitada de inúmeras maneiras dentro e fora da propriedade, gerando economia e possíveis lucros aos produtores (CARREAS, 2013).

Com o aproveitamento dos resíduos da suinocultura, ela passa a não ser mais vista como uma atividade extremamente agressora ao meio ambiente; ao invés, ela se torna um exemplo de como transformar um passivo ambiental em algo lucrativo, além de ser exemplo de sustentabilidade.

Dentre as tecnologias que surgiram desta ocasião, as mais utilizadas fazem uso da Digestão Anaeróbica. Portanto, o atual capítulo do trabalho se

dedicará a explicar este tipo de Digestão, além de mostrar exemplos destas tecnologias.

2.3.1.1 A digestão anaeróbica

Uma das razões pela escolha deste tipo de técnica de tratamento para reduzir a carga orgânica contaminante dos resíduos é a não necessidade de arejamento, a redução da geração de lodo, e justamente por gerar o Biogás, produto que é a fonte energética de interesse, uma vez que é constituído principalmente por metano (55 – 65%) (CARREAS, 2013).

A desvantagem deste processo é sua alta complexidade, que requer um rigoroso controle para assegurar seu correto funcionamento. Sua sensibilidade às sobrecargas orgânicas pode desestabilizar o processo. Trata-se de uma degradação com uma baixa velocidade quando comparada com as aeróbicas, por isso o tempo de retenção requerido é maior (CARREAS, 2013).

O processo anaeróbico é dividido em quatro etapas (ou também, fases), e é realizado através de uma série complexa de reações bioquímicas.

As quatro fases são:

a. A Hidrólise

A Hidrólise é a etapa inicial do processo de degradação da matéria orgânica. É quando enzimas extracelulares produzidas por microrganismos hidrolíticos quebram o substrato, transformando-o em monômeros e polímeros solúveis para que assim ele consiga atravessar suas paredes celulares. Esta pode ser a etapa limitante na velocidade global de todo o processo da degradação (CARREAS, 2013).

b. Fase Acidogênica ou Fermentativa

Esta é a etapa em que acontece a fermentação das moléculas solúveis resultantes da Hidrólise. O resultado desta fermentação são os compostos que serão utilizados pelas bactérias metanogênicas e os compostos orgânicos mais reduzidos, que serão oxidados pelas bactérias acetogênicas (CARREAS, 2013).

c. Fase Acetogênica

Nesta etapa, as bactérias acetogênicas transformam os produtos da acidogênese em hidrogênio, dióxido de carbono e ácido acético. Estas bactérias convivem em perfeita simbiose com as bactérias metanogênicas, pois estas consomem o hidrogênio (CARREAS, 2013).

d. Fase Metanogênica

Na etapa final de todo o processo de degradação anaeróbica, os resultados da fase anterior são transformados em metano e dióxido de carbono. As bactérias metanogênicas são divididas em dois grandes grupos: as que degradam o ácido acético, conhecidas como bactérias metanogênicas acetoclásticas, e as bactérias que consomem o hidrogênio, conhecidas como bactérias metanogênicas hidrogenotróficas (CARREAS, 2013).

Ao final do processo de digestão anaeróbica, ocorre a formação do ácido sulfídrico pelas sulfobactérias. O controle da quantidade de sulfatos no processo é de extrema importância, uma vez que essas bactérias competem com as outras já existentes no processo, podendo diminuir a quantidade de metano gerado. Além disso, o ácido sulfídrico tem um grande potencial corrosivo, o que afeta o aproveitamento energético do biogás (CARREAS, 2013).

2.3.1.2 A utilização da digestão anaeróbica em países em desenvolvimento

A utilização da Digestão Anaeróbica em países em desenvolvimento, como o Brasil, se dá com o uso de dois tipos de tecnologia, que se diferem em função do grau de seu desenvolvimento (CARREAS, 2013).

Há tecnologias mais básicas, que são utilizadas por agricultores de áreas marginais ou produtores médios em setores rurais onde é difícil o acesso a fontes convencionais de energia. O objetivo neste caso é gerar energia, proporcionar saúde e disponibilizar fertilizantes orgânicos através de digestores de mínimo custo e fácil manutenção. Porém as eficiências desses digestores são baixas e, conseqüentemente, são baixos os níveis de produção de energia.

Já as tecnologias mais avançadas, que são voltadas ao setor agrícola e agroindustrial de renda média-alta, apresentam maior eficiência e alta capacidade. O objetivo neste caso é gerar energia e resolver graves casos de contaminação ambiental. Essas tecnologias apresentam maior custo inicial de instalação e sua manutenção e gerência são mais complexas.

Os impactos que essas tecnologias produzem no meio rural são (CARREAS, 2013):

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

Além desta classificação apresentada acima, ainda há uma classificação geral para as plantas de produção de biogás: as de alta capacidade ou industriais e as de baixa capacidade ou “mini digestores”. Mas basicamente um biodigestor é uma câmara totalmente fechada, para onde são enviados os dejetos para que ocorra a digestão anaeróbica (NOGUEIRA, 1986).

Assim, pode-se dizer que um biodigestor é basicamente um tanque impermeabilizado com lona apropriada, onde o processo da digestão ocorre de forma rotativa (ZANIN et al. 2010).

Dentro das tecnologias anaeróbicas básicas, vale citar o digestor anaeróbico de cúpula fixa ou “modelo chinês”, que tem sua origem na década de 1930; o digestor de tambor flutuante ou “modelo indiano”, originado na década de 1950; e o digestor tubular de polietileno ou “modelo taiwanês”, que foi desenvolvido para diminuir os custos de implantação. A principal diferença entre os modelos chinês e indiano é que este se utiliza de um tambor móvel que flutua na ausência de gás.

Dentro das tecnologias avançadas, há dois tipos de digestores: os de Biomassa Aderida e os de Biomassa Suspensa.

Os de Biomassa Aderida são: Reator UASB, Biodigestor de Fluxo não-orientado, Biodigestor de Capa Fixa, o de Leito Expandido e o de Leito Fluidizado. Já os de Biomassa Suspensa são: Biodigestores de Mescla Completa, de Fluxo Pistão, e os de Contato (CARREAS, 2013).

Há um tipo específico que foi desenvolvido na década de 1970 pela Marinha Brasileira, que se trata de um biodigestor de Biomassa Aderida (MANUAL DE BIODIGESTÃO).

Este modelo é o mais indicado para projetos industriais e agroindustriais por sua versatilidade ao uso de diferentes tipos de resíduos orgânicos e sua grande capacidade de armazenamento, tendo um alto desempenho na produção de biogás e na estabilização dos dejetos que poderão ser utilizados como biofertilizantes após todo o processo da digestão anaeróbica (OLIVEIRA et al., 2006).

Além disto, o aperfeiçoamento da manta impermeável, passando a ser produzida com PVC (Policloreto de Vinila), e a sua maior resistência à corrosão provocada pela água e pelo ácido sulfídrico justificam também a escolha por este tipo de digestor. A Figura 2.5 ilustra esta forma de instalação (MANUAL DE BIODIGESTÃO).

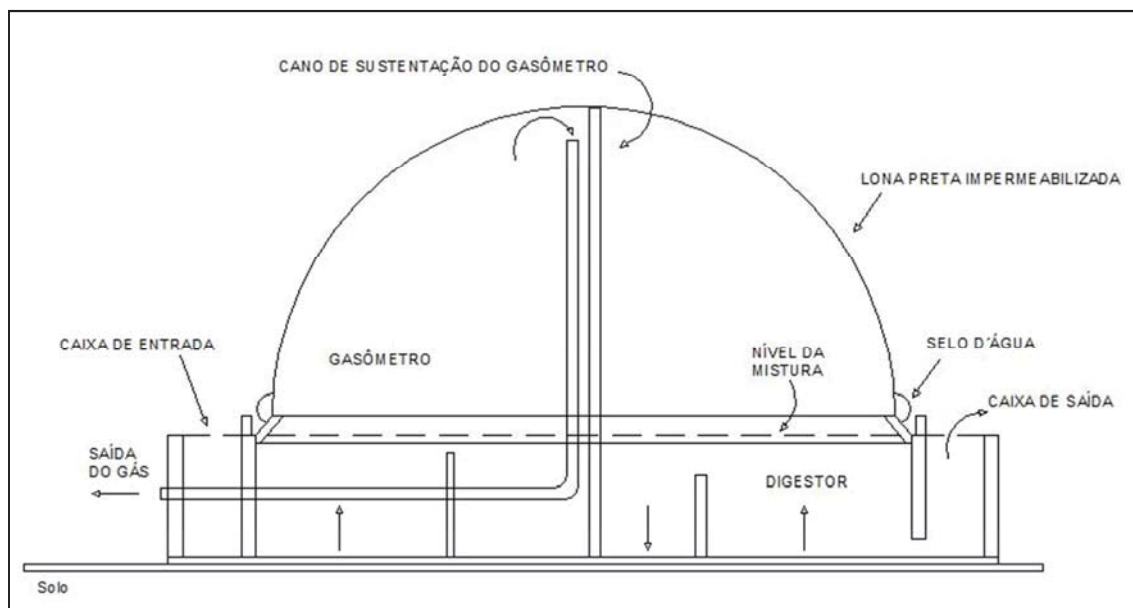


Figura 2-5 – Modelo de Biodigestores desenvolvido pela Marinha Brasileira
Fonte: Adaptado de BARRERA (2003)

Há uma variação mais simplificada deste modelo, em que o reservatório é construído sem paredes divisórias.

Para este caso, é recomendado instalá-lo abaixo do nível do solo, para evitar a ocorrência de variações bruscas de temperatura, e, assim, tirar o máximo proveito do calor da terra. Porém, apesar disso, 90% do aquecimento deste biodigestor vem dos raios solares que incidem sobre a lona preta, o que garante uma boa temperatura de funcionamento, e uma consequente maior produção de biogás com maior concentração de metano. É recomendado que o ponto de abastecimento não esteja a mais de 50 metros do digestor, uma vez que o gás encontra-se a uma pressão baixa devido à manta utilizada. Se essa situação não for possível, recomenda-se o uso de um compressor. A Figura 2.6 apresenta um esquema simplificado deste tipo de biodigestor (OLIVEIRA et al. 2006).

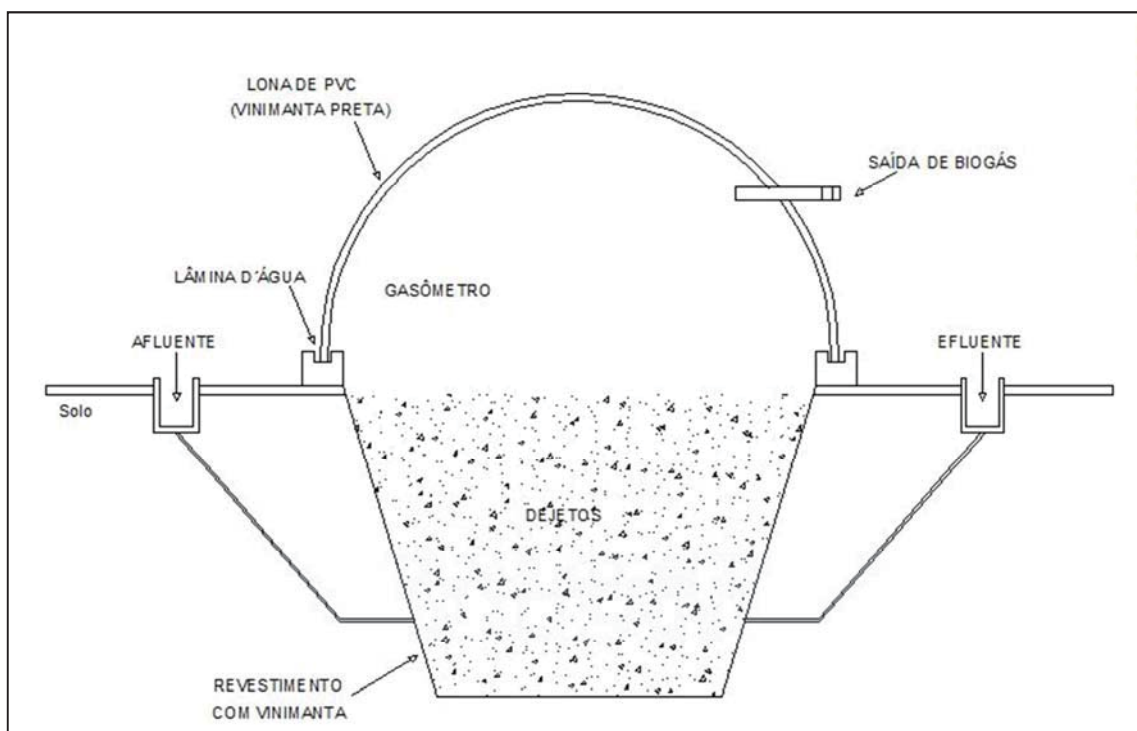


Figura 2-6 – Modelo Simplificado do Biodigestor da Marinha do Brasil
Fonte: Adaptado de OLIVEIRA (2006)

2.3.2 Subprodutos Gerados na Produção de Suínos

O processo de tratamento dos resíduos da suinocultura está esquematizado na Figura 2.7. Do tratamento resultam o biofertilizante e o biogás, subprodutos que serão explicados a seguir.

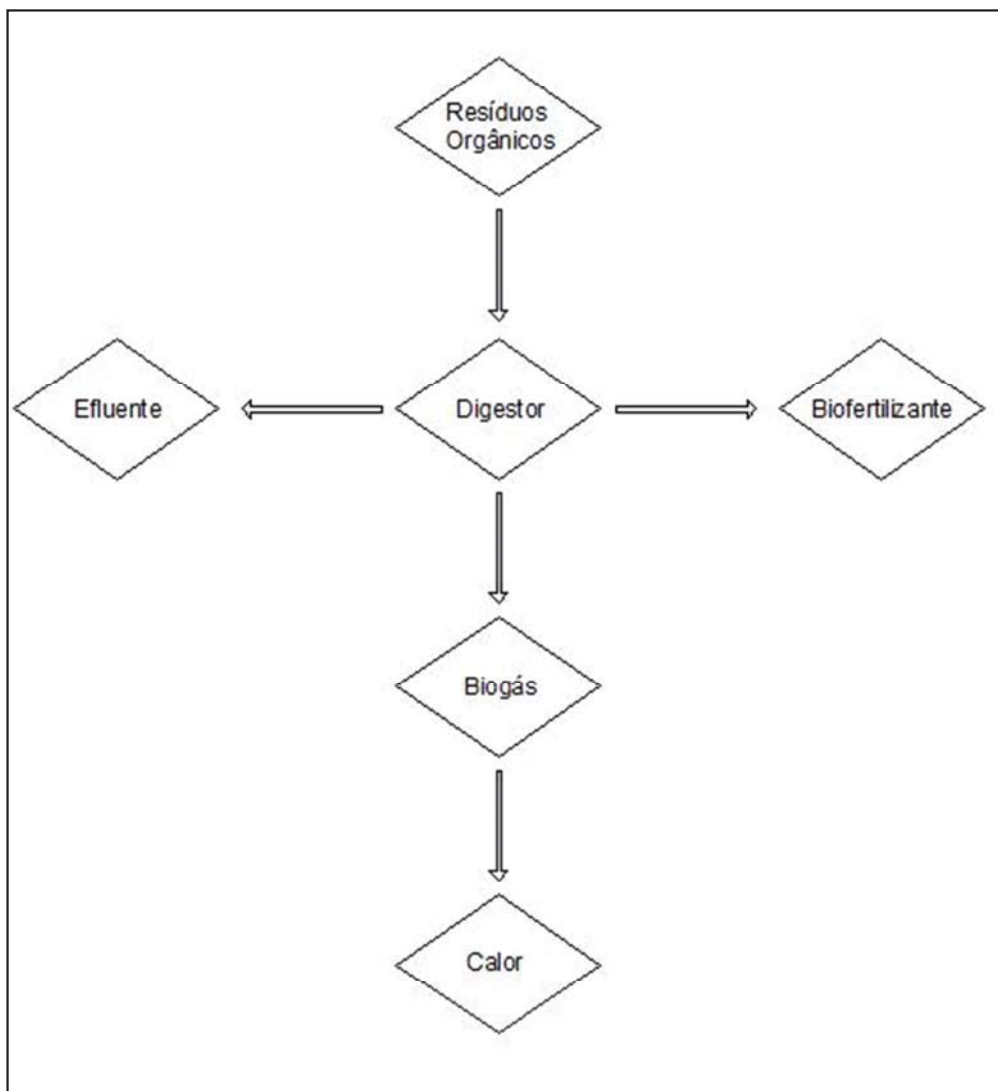


Figura 2-7 – Esquema do Tratamento de Resíduos e seus Subprodutos
Fonte: Adaptado de CARREAS (2013)

2.3.2.1 Biogás

Um dos produtos resultantes do tratamento dos dejetos suínos é o biogás. No caso desenvolvido por este trabalho, o biogás é sem dúvidas o produto mais importante obtido do processo de digestão anaeróbica e essencial para a geração de energia elétrica.

2.3.2.1.1 Características qualitativas e métodos de filtração

O biogás é um produto gasoso, obtido através da degradação anaeróbia de resíduos orgânicos, promovida pela fermentação da matéria orgânica dentro dos biodigestores. O biogás é um combustível natural, o qual pode ser utilizado para aquecimento, cocção, iluminação, secagem de grão, geração de energia, entre outras aplicações típicas do gás natural (GENOVESE et al., 2006).

O principal componente do biogás é o metano (CH_4) O metano é por definição um gás incolor, apresenta odor fraco e pouca solubilidade em água, porém, sua característica mais relevante é que, quando está em contato com o ar, torna-se altamente inflamável (HAAS, 2013).

O segundo composto presente em maior quantidade no biogás é o dióxido de carbono, CO_2 , gás cuja concentração elevada na atmosfera contribui para o efeito estufa. É importante ressaltar a presença de CO_2 no biogás, visto que a queima do biogás resulta na liberação do composto, o que é nocivo ao meio ambiente e principalmente à qualidade do ar (HAAS, 2013).

Além do metano e do dióxido de carbono, outro componente do biogás que deve ser destacado é o sulfeto de hidrogênio ou ácido sulfídrico (H_2S). Apesar de estar presente em menor quantidade no produto, o H_2S é seu principal contaminador, sendo o elemento que confere ao biogás odor forte e características tóxicas e corrosivas (HAAS, 2013).

Também estão presentes no biogás o hidrogênio, H_2 , oxigênio, O_2 , e outros gases com menor representatividade, conforme apresentado na Tabela 2.7.

Tabela 2-7 – Comparação do Biogás

Componente	Quantidade (%)
Metano (CH ₄)	50 a 75
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25 a 40
Hidrogênio (H ₂)	1 a 3
Azoto (N ₂)	0,5 a 2,5
Oxigênio (O ₂)	0,1 a 1
Sulfureto de Hidrogênio (H ₂ S)	0,1 a 0,5
Amoníaco (NH ₃)	0,1 a 0,5
Monóxido de Carbono (CO)	0 a 0,1
Água (H ₂ O)	variável

Fonte: Adaptado de GENOVESE et al (2006)

Devido à presença do ácido sulfídrico na composição do biogás, sua utilização como fonte de energia não pode ser realizada em sua forma natural, visto que as características corrosivas deste componente podem resultar em desgastes nos equipamentos, tubulações e máquinas utilizadas durante o processo de geração de energia, reduzindo a vida útil dos mesmos (LIMA, 2007).

Entretanto, é possível eliminar o H₂S do biogás, assim como demais componentes que não são importantes para a geração de energia, através de filtros e dispositivos de resfriamento, condensação e lavagem (LIMA, 2007).

Existem diversas metodologias disponíveis para a purificação do biogás a partir das quais os filtros são construídos e projetados (HAAS, 2013).

A Tabela 2.8 exhibe alguns dos principais métodos usados nas tecnologias atuais.

Tabela 2-8 – Processos de limpeza do Biogás

Item	Métodos de Purificação de Biogás
01	Remoção do H ₂ S através de óxidos de ferro
02	Compressor para introdução de oxigênio no biogás
03	Métodos por membrana
04	Método Water Scrubbing - Lavagem do biogás com água pressurizada

Fonte: Adaptado de HAAS (2013)

No primeiro processo apresentado, o biogás é injetado na base de uma torre preenchida com granulados de óxidos de ferro (Fe₂O₃). Quando reage com este componente, enquanto o biogás circula pela torre, o H₂S é retido e então o biogás é purificado (HAAS, 2013).

No segundo caso, um compressor é utilizado para introduzir pequena quantidade de oxigênio no biogás e, assim, o sulfeto do biogás é oxidado a enxofre reduzindo a concentração do H₂S. É um processo simples e de baixo custo (HAAS, 2013).

Já o processo por membranas possui custo elevado e consiste na passagem do biogás através de uma fina membrana, com menos de 1 mm, sendo que devido à diferença de pressão parcial e à dependência de cada componente à permeabilidade do material da membrana, alguns componentes são transportados e outros ficam retidos nela (HAAS, 2013).

O método *Water Scrubbing* é baseado na lavagem do biogás por contra corrente, filtrando o H₂S e o CO₂. Como necessita apenas de água pressurizada e pouca infraestrutura é um método simples e barato (HAAS, 2013).

A quantidade de biogás gerada a partir de um processo de digestão anaeróbica depende da temperatura aplicada durante o procedimento e também da quantidade de sólido presente nos resíduos. Quanto mais partes sólidas, mais volume de biogás será gerado (LIMA, 2007).

Para estimar a produção de biogás a partir do tratamento de dejetos, pode-se utilizar o modelo matemático de Chen, o qual considera o volume de sólidos voláteis, o tempo de retenção hidráulica, a temperatura de operação no

biodigestor, o volume de Biomassa, o volume de dejetos e o número de animais (OLIVEIRA et al., 2006).

A Tabela 2.9 apresenta estimativas simplificadas de produção de biogás para diferentes tipos de resíduos.

Tabela 2-9 – Produção estimada de Biogás

Origem do Resíduo	Produção de Biogás (m³/cabeça/dia)
Aves	0,014
Suínos	0,240
Bovinos	0,360
Vegetais	0,04

Fonte: Adaptado de BIPERS (2002)

2.3.2.1.2 Aproveitamento como fonte de energia

Os primeiros usos energéticos conhecidos do biogás foram em cozinhas familiares e lâmpadas em países como China e Índia. Devido ao aumento da preocupação com questões ambientais e desenvolvimento do uso de energias renováveis, o emprego do biogás prosperou ao longo dos anos e atualmente pode substituir o gás natural em diversas funções (CARREAS, 2013).

O poder de geração de energia do biogás está diretamente relacionado com seu poder calorífico, o qual é definido de forma simplificada como a quantidade de energia liberada na oxidação de um combustível, em relação a um determinado volume (COLDEBELLA et al., 2008).

O poder calorífico ou qualidade calorífica do biogás, por sua vez, se dá em razão do teor de metano existente no biogás. Um biogás com concentração de metano entre 50 e 80% apresenta qualidade calorífica entre 4,95 e 7,92 kWh/m³, ou uma média de 4.500 a 5.600 kcal/m³. O poder calorífico do biogás pode aumentar quando se elimina parte do CO₂ nele presente (COLDEBELLA et al., 2008).

Quando comparado o poder calorífico de um metro cúbico de biogás com outras fontes de energia é possível verificar seu potencial energético em relação aos demais combustíveis, como mostrado na Tabela 2.10.

Tabela 2-10 – Comparativo de Poder Energético de 1m³ de Biogás

Combustível	Equivalência Energética
Gasolina	0,613 litros
Querosene	0,579 litros
Diesel	0,553 litros
GLP	0,454 kg
Álcool	0,79 litros
Carvão Mineral	0,735 kg
Lenha	1,538 kg
Eletricidade	1,428 kWh

Fonte: Adaptado de COLDEBELLA et al. (2008)

O biogás pode ser aproveitado em uma criação de suínos para diversas aplicações, entre elas: geração de energia elétrica, sistemas de aquecimento para as creches e sistemas de forno para fabricação de ração. Pode ainda ser utilizado o sistema de cogeração.

Um sistema de cogeração, diferentemente da geração convencional de eletricidade, não perde o calor gerado durante o processo. Ao invés, ele o aproveita de diferentes maneiras, tais como no aquecimento da água, no aquecimento do digestor ou em qualquer outro uso que se faça necessária a energia calorífica dentro de um processo industrial ou agroindustrial (CARREAS, 2013).

O uso do biogás como fonte de geração de energia elétrica é o foco principal deste trabalho e será explicado na seção 2.4. De maneira generalizada, diversas tecnologias são disponíveis e utilizadas para conversão energética do biogás, ou seja, na transformação da energia química contida nas moléculas do gás em energia mecânica.

O biogás na suinocultura pode ser aproveitado utilizando seu poder calorífico no sistema de aquecimento das creches de leitões. Um método para executar o aquecimento é por meio de queima em forno e direcionamento do ar quente às instalações das creches através de ventilação forçada. Dessa maneira, é possível reduzir ou até mesmo eliminar gastos com aquecedores e equipamentos de ar-condicionado (LAZARETTI et al., 2013).

O poder calorífico do biogás também pode ser aplicado nos fornos de uma fábrica própria de ração, de maneira a realizar a secagem da ração. Esta aplicação permite que o produtor troque seus fornos elétricos por fornos a biogás, reduzindo consideravelmente os gastos com a alimentação dos suínos (BLEY JR., 2015).

2.3.2.2 Biofertilizante

Uma forma de aproveitar os dejetos suínos, além da obtenção do biogás, é utilizá-los como biofertilizante. Este aproveitamento pode ter um grande impacto na economia do produtor. Ele é praticamente o destino final de todo o dejetos (OLIVEIRA, 2004).

Como dito na frase acima, ele “pode” ter grande impacto, mas a sua utilização não é garantida. Antes que esse Biofertilizante possa ser aplicado nas lavouras, pastagens e até mesmo pomares, uma análise química da sua composição e das concentrações dos nutrientes presentes é necessária para assegurar que não haverá poluição e degradação do solo e cursos d’água (OLIVEIRA et al., 2006). Além disso, ele tem de se provar competitivo com o fertilizante mineral, o que pode ser alcançado através de um manejo, instalações e equipamentos adequados (BIPERS, 2002).

Para o estudo da viabilidade econômica do uso do produto final do tratamento dos dejetos como biofertilizante, deve se considerar a concentração de NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio) e o custo de distribuição dos dejetos. Neste custo estão agregadas a distância entre o depósito e a lavoura, a velocidade de deslocamento, o volume anual aplicado, além do custo horário do trator e do sistema de distribuição. Outros fatores podem ser considerados.

Esse biofertilizante pode ser utilizado tanto em uma lavoura interna, que pode ocorrer em paralelo à produção de suínos, quanto para a venda externa para agricultores locais (BIPERS, 2002).

Um fator que pode ser determinante na qualidade dos biofertilizantes é a tecnologia utilizada nas edificações, podendo esta influenciar na liquidez do dejetos. A tecnologia de Piso Ripado não se mostrou uma boa escolha para o aproveitamento dos biofertilizantes, uma vez que resultava em um dejetos muito líquido, apresentando uma baixa concentração de nutrientes (CHIUCHETTA, 2000). Já a tecnologia de Cama de Maravalha é uma boa alternativa para se manter o dejetos mais concentrado e conseqüentemente com mais nutrientes (OLIVEIRA et al., 2006). Um estudo realizado por Oliveira em 1992 mostrou que a utilização desta tecnologia no sistema de produção de suínos viabiliza o uso dos dejetos como fertilizante orgânico e afirma que sua distribuição na lavoura é facilitada.

Uma vez feitos os estudos e análises da qualidade do Biofertilizante, deve-se prestar atenção quanto à sua dosagem nas culturas. Ela depende não tão somente da concentração de nutrientes no Biofertilizante, mas também do tipo do solo e proximidade do lençol freático. O tipo de cultura também influencia na dosagem. Um exemplo é o milho. A EMBRAPA Suínos e Aves, tomando como referência o Manual de Recomendações de Adubação e de Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, recomenda que a quantidade de nitrogênio especificada no Manual seja parcelada em duas vezes (BIPERS, 2002).

2.4 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS NO AGRONEGÓCIO

O Biogás está cada vez mais sendo utilizado como fonte de energia, conforme vem crescendo a notoriedade das energias renováveis como uma alternativa de substituição às fontes convencionais. A aplicação do Biogás como fonte energética é variada, e praticamente a mesma do gás natural.

Conforme explicado, o Biogás é composto por metano, dióxido de carbono, entre outros gases. É justamente a proporção desses gases na composição do Biogás que determina a sua poder calorífico, afetando seu rendimento na geração de energia elétrica (CARREAS, 2013).

A utilização das fontes energéticas provenientes do agronegócio é capaz de movimentá-lo praticamente em todas as suas etapas de produção e, por isso, há a necessidade de normatizar seus processos e regulamentar seus usos. É nesse contexto que a ideia de Geração Distribuída se faz importante para o desenvolvimento dos agroenergéticos (CARREAS, 2013).

Um fator importante neste cenário é a eficiência energética. Uma atividade que gera localmente a energia que consome, sem depender de fontes externas ou dependendo em menor escala delas, é considerada energeticamente eficiente (BLEY JR., 2015).

A energia gerada localmente viabiliza a aquisição de novos equipamentos, aumentando a infraestrutura da produção, sem necessariamente aumentar seus custos de operação (BLEY JR., 2015).

2.4.1 Balanços Energéticos Agropecuários

A Termodinâmica nos contempla com duas leis, as quais dizem que a energia não pode ser criada nem destruída, apenas ser transformada em outro tipo e que nenhum processo que implique transformação de energia ocorrerá de maneira espontânea, a menos que haja a sua degradação de uma forma concentrada para uma forma dispersa (ODUM, 1986).

Para a análise da possibilidade de sustentabilidade de um sistema agrícola, o estudo da energia empregada nele se faz de grande importância (CAMPOS et al., 2003).

Portanto, um balanço energético de um agronegócio se constitui em uma importante ferramenta para definir técnicas que podem proporcionar uma economia de energia consumida, com uma conseqüente redução dos custos de produção (CAMPOS, 2004).

Este capítulo mostra técnicas de geração de energia elétrica dentro de um agronegócio se utilizando de matérias disponíveis na propriedade.

2.4.2 Tecnologias Utilizadas na Conversão do Biogás em Eletricidade

a. Motor de Combustão Interna

Motores de combustão interna são tecnologias que podem operar com diferentes tipos de combustíveis, tanto líquidos como gasosos (SALOMON, 2007).

Para a conversão do Biogás, os motores que mais nos interessam são os do tipo alternativo, que são conhecidos por motores de ciclo Otto, de dois ou quatro pólos. Eles são movidos a álcool, gasolina ou diesel, porém podem ser facilmente adaptados para serem utilizados com o Biogás como combustível (OLIVEIRA, 2004).

Porém, no mercado há disponíveis motores de combustão interna que já vêm adaptados para funcionar com o Biogás, inclusive podendo utilizar gases com diferentes níveis de metano, ácido sulfídrico e dióxido de carbono (SALOMON, 2007).

Para a geração de energia elétrica, esses motores podem ser acoplados a geradores independentes da rede de energia elétrica da concessionária local, constituindo um conjunto gerador de energia ou podem ser conectados à rede, sendo um conjunto gerador economizador de energia (OLIVEIRA, 2004).

b. Motor Stirling

É um motor que se assemelha às máquinas a vapor pelo fato de utilizar um sistema fechado, em que potência mecânica é obtida se aproveitando a expansão de um gás de trabalho. Trata-se de um motor alternativo a pistão movido por uma fonte externa de calor.

Dentre as suas vantagens estão (SALOMON, 2007):

- Eficiência em torno dos 30%;
- Baixo nível de ruídos;
- Operação segura;
- Grande variedade de combustíveis;
- A possibilidade de cogeração.

Além dessas duas tecnologias apresentadas acima, há as tecnologias mais avançadas de conversão de Biogás em eletricidade, porém elas requerem um Biogás mais limpo, com menos impurezas. A aplicação delas deve ser melhor estudada, sendo analisados os custos envolvidos e a composição do gás que será utilizado como combustível.

c. Microturbinas a gás

São turbinas a gás que operam em uma faixa de potência de 15 a 300 kW e trabalham com velocidade variável. Para se utilizar o biogás como combustível deste tipo de turbina, uma adaptação é necessária, além da limpeza do gás antes da queima. A adaptação mencionada é a remodelação da câmara de combustão desta turbina, uma vez que o gás a ser queimado agora se trata de um gás pobre (SALOMON, 2007).

A eficiência de uma microturbina a gás gira em torno dos 16%, porém com a utilização de um recuperador com eficiência de aproximadamente 85%, a eficiência do conjunto pode subir para em torno de 33% (WILLIS et al., 2000).

Dentre as vantagens da turbina, podemos citar:

- Capacidade de operação com gás de baixo nível de metano
- Opera bem em locais com grandes amplitudes térmicas
- Possibilidade de Cogeração

d. Células a Combustível

Células a combustível são dispositivos eletroquímicos que convertem energia química em eletricidade com um alto rendimento e que tem um comportamento semelhante ao de uma bateria. Uma bateria é constantemente recarregada em um processo que envolve dois reagentes, no caso o hidrogênio e o ar. A célula a combustível se beneficia da energia da mistura entre combustível e agente oxidante (SALOMON, 2007).

A célula a combustível, apesar de ter o hidrogênio e o oxigênio como reagentes primários, pode operar com diferentes combustíveis, dependendo do tipo de processamento do mesmo e do tipo do reformador usado (SALOMON, 2007).

Esse tipo de tecnologia está dependendo de maiores estudos e desenvolvimentos, porém se mostra muito promissora, caminhando junto à nova economia denominada do hidrogênio (CARREAS, 2013).

2.4.3 Exemplo de um Sistema de Geração de Eletricidade a partir do Biogás

Em seguida apresentam-se os equipamentos necessários para a geração de energia elétrica dentro de uma propriedade rural que já dispõe de todo o aparato tecnológico para o tratamento dos resíduos orgânicos gerados em seus processos internos. Portanto, serão consideradas as tecnologias que já fazem uso do Biogás pronto.

O exemplo apenas citará os equipamentos, sem se prender a valores nominais de carga e potência, pois esses dados variam de projeto para projeto.

a. Sistema de Purificação do Biogás

O ácido sulfídrico e a umidade presentes no Biogás podem danificar os equipamentos. Portanto, eles precisam ser retirados ou drasticamente reduzidos antes do Biogás ir para o grupo motor-gerador. Um sistema de filtragem é adotado para tal.

Esse sistema de filtragem é composto por um filtro de alta capacidade de adsorção de ácido sulfídrico que se utiliza de material peletizado em estado sólido seco, e por um compressor que serve para regularizar a vazão e a pressão do Biogás.

Após passar pelo sistema, a concentração máxima de ácido sulfídrico deve ser menor que 10 ppm.

b. Gasômetro

Este equipamento é utilizado para que haja a possibilidade de regulação da vazão do Biogás, sua armazenagem e sua homogeneização.

c. Tubulação, Medidores e Válvulas

Para o bom controle de todo o sistema instalado, é necessária a utilização de medidores da vazão, além de manômetros e válvulas de abertura.

E para a interligação de todos os componentes do sistema, para garantir o transporte do Biogás desde o biodigestor até o grupo motor-gerador, uma tubulação de polietileno é utilizada.

d. Grupo Motor-Gerador

No mercado, há vários modelos de grupo motor-gerador a Biogás, com variadas potências nominais.

e. Abrigos de alvenaria

Para abrigar os equipamentos, vale considerar construir abrigos em alvenaria para protegê-los contra efeitos climáticos.

2.4.4 O Cenário da Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás no Mundo e no Brasil

Em 2013, no mundo havia cerca de 1.483 usinas que se utilizam de resíduos em geral para a produção de energia elétrica, sendo o Japão o país líder nesse ranking contando com 800 usinas, seguido pela Europa, que apresentava 452 usinas, por China, com 100 usinas, e pelos Estados Unidos com 86 usinas. Na América Latina, o destaque é o Brasil (BLEY JR., 2015).

No Brasil, o crescimento no investimento deste tipo de energia se deu praticamente a partir do ano de 2002, quando foi instalado o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica), e depois se intensificou com a realização de leilões de energia (BLEY JR., 2015).

Hoje conta-se com uma das maiores usinas a partir de Biogás do mundo, a Usina Termelétrica UTE Aterro Bandeirantes, com projeção de potência instalada de 20 MW até 2018 (BLEY JR., 2015).

As perspectivas para este tipo de energia no Brasil eram boas em 2013. Exemplo disto é o Aterro Gramacho que se tornaria a partir de 2013 o único fornecedor de biogás do mundo exclusivo para uma refinaria de petróleo, produzindo em média 70 milhões de metros cúbicos diários pelos 15 anos seguintes. Além disto, em maio de 2013 foi instalado um centro de pesquisas dedicado à geração a partir do Biogás, o CIBiogás – ER, dentro do Parque Tecnológico Itaipu. Este é o único do continente americano (BLEY JR., 2015).

A meta para 2020 é que a produção de eletricidade a partir do Biogás supra a necessidade de até 8,8 milhões de brasileiros (BLEY JR., 2015).

2.4.4.1 Exemplos bem sucedidos de empreendimentos agroindustriais que geram eletricidade a partir do biogás

O Projeto Itaipu de Energias Renováveis passou a destinar uma parte de seu orçamento para pesquisa e desenvolvimento de um programa para a valorização do Biogás. O projeto saiu do papel, e foi implementado em escala real em parceria com produtores locais. Alguns exemplos serão citados abaixo, retirados do livro “Biogás: a energia invisível” (BLEY JR., 2015).

a. Granja Colombari – São Miguel do Iguçu/PR

Uma propriedade rural onde havia, em 2007, 3 mil suínos em terminação, além de 3 mil leitões entre 25 e 110 quilos, o que gerava uma vazão média diária de 36 m³ de dejetos.

A granja começou um sistema de geração próprio de energia elétrica com os primeiros motores a Biogás do Brasil, o que a permitiu instalar sua própria fábrica de ração, conseguindo assim aumentar em muito sua lucratividade, já que pôde se tornar autossuficiente em ração.

Começou-se então uma parceria com a Itaipu, que utilizou a granja como um caso de estudo para o desenvolvimento de seu programa de incentivo às energias renováveis.

Atualmente, a Granja Colombari está homologada para atuar como unidade geradora de eletricidade no sistema elétrico nacional, tendo uma produção média de biogás de 750 m³ por dia, gerando com isso 1000 kWh por dia com um grupo motogerador de potência nominal igual a 104 kVA.

Ela opera em geração distribuída, em paralelo à rede da Copel, vendendo à concessionária o excedente de eletricidade. Em fevereiro de 2011, esse excedente vendido foi um pouco mais de 19 MWh, rendendo ao produtor cerca de R\$ 2.500,00. À época, o MWh foi vendido por R\$135,00.

b. Sanga Ajuricaba – Marechal Cândido Rondon/PR

Trata-se de um condomínio de agroenergia para a agricultura familiar, onde 33 pequenos proprietários rurais se uniram para viabilizar a produção de biogás e a geração distribuída.

Diferentemente de sistemas parecidos instalados na Alemanha, este trata individualmente os dejetos em biodigestores de baixa tecnologia e envia o biogás gerado individualmente em cada propriedade para uma microcentral termelétrica (MCT).

O biogás chega à MCT por duas canalizações diferentes: uma indo ao grupo motor-gerador e a outra ao secador de grãos a Biogás.

A instalação deste gasoduto foi um desafio, uma vez que todas as referências até aquele momento eram de gasodutos de altas vazões e pressões, porém foi instalado com sucesso.

Atualmente, a produção total de Biogás do sistema é de 660 m³ por dia e a MCT conta com uma capacidade instalada de 100 kWh por meio de um grupo motor-gerador de 100 kVA.

Na Figura 2.8 é possível observar o processo de geração distribuída dentro do complexo do Ajuricaba, desde o tratamento dos dejetos suínos até a inserção da eletricidade gerada pela microcentral termelétrica na concessionária de energia elétrica.

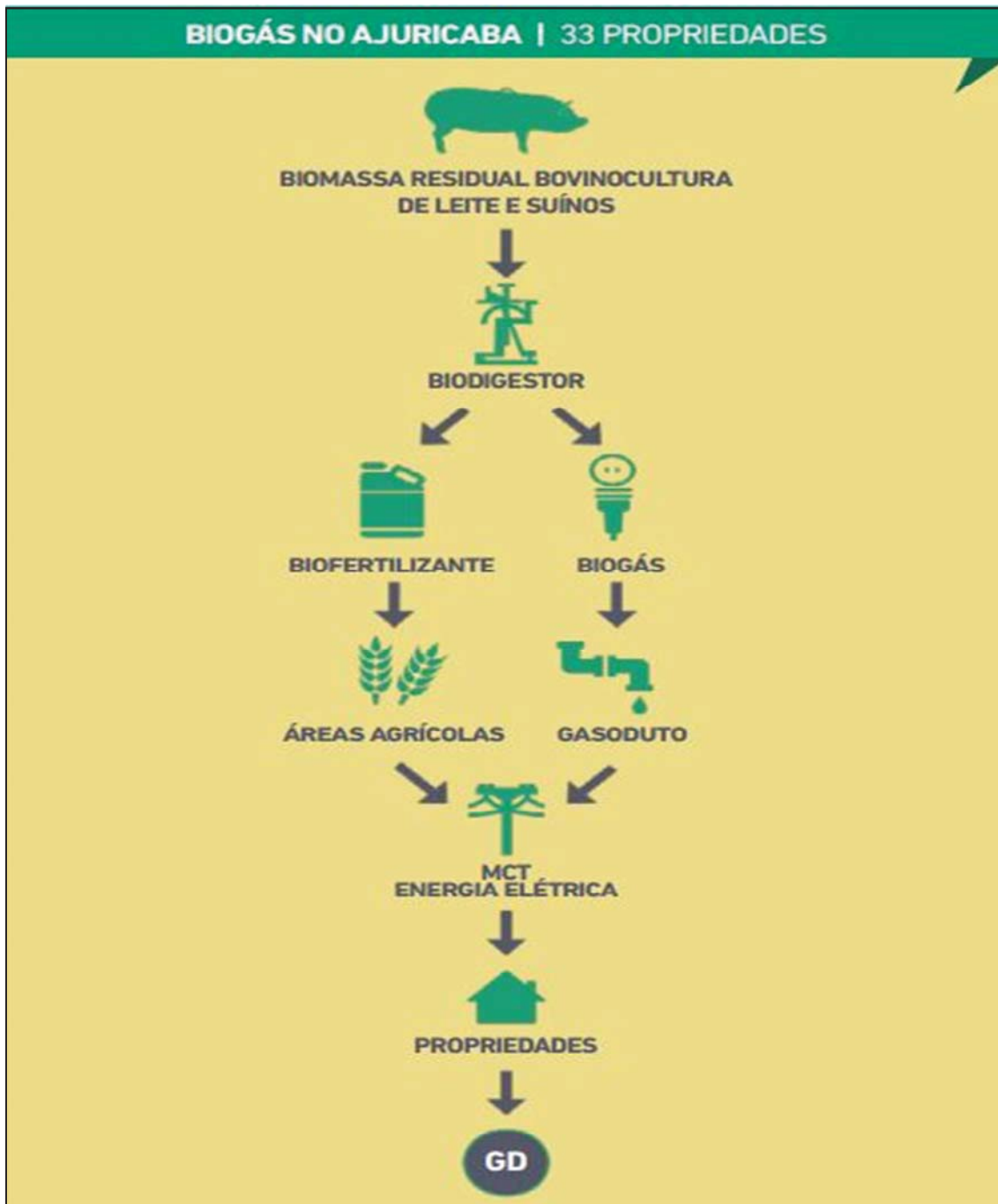


Figura 2-8 – Esquema Representativo do Aproveitamento do Biogás no Ajuricaba

Fonte: BLEY JR. (2015)

3. ESTUDO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO TRATAMENTO DE RESÍDUOS SUÍNOS

Este trabalho fará uma análise comparativa da disponibilidade de biomassa e geração de energia elétrica para Unidades de Terminação (UT) e Unidades de Produção de Leitões (UPL), visando à autossuficiência. Serão consideradas produções de 500 a 5000 suínos para os dois casos, em cenários que variam em acréscimos de 500 suínos. Ao final da análise, será apresentado um estudo de caso real com base nos dados de uma propriedade localizada em Cascavel/PR como forma de aplicação do método apresentado.

3.1 A ESCOLHA DE UM BIODIGESTOR

Há uma ampla gama de tecnologias para a produção de biogás, dentre elas diferentes tipos de biodigestores e reatores. A correta seleção da tecnologia deve ser feita considerando-se primeiramente o tipo de resíduo que alimentará o sistema, podendo ser ele proveniente de aterros sanitários, indústrias ou agroindústrias. Para o mesmo tipo de resíduo, ainda alguns critérios devem ser levados em conta na hora de se escolher a tecnologia mais apropriada, tais como: o teor de matéria seca dos substratos, tipo de alimentação (contínua, batelada, etc.), número de fases do processo e temperatura do processo.

No setor da suinocultura brasileira, o modelo de biodigestor recomendado é o do tipo lagoa anaeróbica coberta. Este modelo de biodigestor é apropriado para resíduos com baixa carga ST (Sólidos Totais), que é o caso do resíduo da suinocultura ($ST < 5\%$), e é ideal para digestão anaeróbica em climas tropicais (CABRAL et al., 2015).

Há outros tipos de tecnologia que poderiam ser adotados no perfil do nosso país, porém a escolha por esse biodigestor também se justifica pela facilidade de construção, de operação e de manutenção (GIZ, 2015).

Por essas constatações, este será o biodigestor considerado para o desenvolvimento deste trabalho. O modelo de biodigestor do tipo lagoa anaeróbica coberta escolhido é o desenvolvido pela Marinha Brasileira, apresentado no capítulo 2.

A caracterização básica específica deste tipo de biodigestor é sua cobertura para armazenagem do biogás, que pode ser lona de PVC ou PEAD (OLIVEIRA, 2004).

A Fundação do Meio Ambiente (FATMA), em sua instrução normativa 11 – Anexo 12, especifica recomendações para a elaboração de projetos de sistemas de tratamento de dejetos suínos por digestão anaeróbica utilizando-se digester tipo lagoa coberta. Dentre as recomendações, constam:

- a. O biodigestor no formato retangular deve obedecer à proporção comprimento/largura 2:1 ou 3:1 e deve ter profundidade superior a 2,5m.
- b. O tempo de retenção hidráulico (TRH) deve ser entre 20 e 50 dias.
- c. O volume da câmara de digestão (Vcd) deve respeitar a relação $Vcd = Vd \times TRH$, onde Vd é a vazão de dejetos que alimentará o biodigestor.
- d. Recomenda-se o uso de uma caixa de amortecimento de vazão antes da entrada do dejetos no biodigestor.
- e. Recomenda-se a separação de sólidos grosseiros e/ou desarenador antes da entrada na câmara de digestão para evitar assoreamento.

3.2 CÁLCULO DO VOLUME DO BIODIGESTOR E DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

A quantidade de biogás gerada em um biodigestor varia conforme a quantidade de biomassa que o alimenta, além de demais fatores específicos como o Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) e temperatura interna do biodigestor.

O Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) é um parâmetro importante no dimensionamento do biodigestor. Ele representa o tempo médio de permanência da matéria orgânica dentro da unidade de tratamento (NTS 230, 2009). O Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) comumente utilizado na suinocultura brasileira varia de 22 a 30 dias, conforme estudo da Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Para este trabalho será adotado um TRH de 30 dias.

A quantidade de biogás gerado está diretamente relacionada à quantidade de biomassa que alimenta o biodigestor. A disponibilidade de biomassa em uma produção de suínos varia conforme sua característica, uma vez que os dejetos produzidos por um suíno variam com seu peso e idade.

A Unidade de Terminação (UT) é responsável pela engorda dos suínos e entrega para o abate. O suíno chega, em média, com 22kg, permanecendo até alcançar 125kg. A Unidade de Produção de Leitões (UPL) é responsável pelas matrizes e suínos recém-nascidos, permanecendo com eles até seus 22kg, quando são entregues à UT.

Na Unidade de Terminação (UT), a produção média diária de dejetos é estimada em 4,5 L por animal. Já na Unidade de Produção de Leitões (UPL), este número é estimado em 22,8L por animal por dia (FATMA, 2014).

Para o cálculo do volume do biodigestor será adotada a seguinte fórmula (MARTINS et al., 2011):

$$V_{bio} = N_{sui} \times V_{dej} \times TRH$$

E, para o cálculo da produção de biogás (MARTINS et al., 2011):

$$P_{bio} = V_{bio} \times K$$

Onde:

V_{bio} – Volume de Biomassa no Biodigestor, em m^3 ;

N_{sui} – Número de suínos da unidade;

V_{dej} – Volume médio produzido de dejetos por animal, em m^3/dia ;

TRH – Tempo de Retenção Hidráulica, em dias;

P_{bio} – Quantidade de biogás produzida por dia, em m^3 ;

K – Índice de eficiência de produção de biogás no biodigestor, m^3 biogás/ m^3 biomassa.

O índice K varia entre 0,35 e 0,65 m^3 de biogás por m^3 de biomassa (OLIVEIRA et al., 2006 apud MARTINS et al., 2011). Neste estudo, foi adotado um valor para K igual a 0,6 m^3 biogás/ m^3 biomassa.

As Tabelas 3.1 e 3.2 mostram os resultados da produção de biogás para todos os cenários estudados de Unidades de Produção de Leitões (UPL) e Unidades de Terminação de Suínos (UT).

Tabela 3-1 – Produção de Biogás para Unidades de Terminação (UT)

UNIDADE DE TERMINAÇÃO (UT)						
Nsui	Vdej (m ³ /dia.animal)	Vdej Total (m ³)	TRH (dias)	Vbio (m ³)	K	Pbio (m ³ /dia)
500	0,0045	2,25	30	67,5	0,6	40,5
1000	0,0045	4,5	30	135	0,6	81
1500	0,0045	6,75	30	202,5	0,6	121,5
2000	0,0045	9	30	270	0,6	162
2500	0,0045	11,25	30	337,5	0,6	202,5
3000	0,0045	13,5	30	405	0,6	243
3500	0,0045	15,75	30	472,5	0,6	283,5
4000	0,0045	18	30	540	0,6	324
4500	0,0045	20,25	30	607,5	0,6	364,5
5000	0,0045	22,5	30	675	0,6	405

Fonte: Elaboração própria

Tabela 3-2 – Produção de Biogás para Unidades de Produção de Leitões (UPL)

UNIDADE DE PRODUÇÃO DE LEITÕES (UPL)						
Nsui	Vdej (m ³ /dia.animal)	Vdej Total (m ³)	TRH (dias)	Vbio (m ³)	K	Pbio (m ³ /dia)
500	0,0228	11,4	30	342	0,6	205,2
1000	0,0228	22,8	30	684	0,6	410,4
1500	0,0228	34,2	30	1026	0,6	615,6
2000	0,0228	45,6	30	1368	0,6	820,8
2500	0,0228	57	30	1710	0,6	1026
3000	0,0228	68,4	30	2052	0,6	1231,2
3500	0,0228	79,8	30	2394	0,6	1436,4
4000	0,0228	91,2	30	2736	0,6	1641,6
4500	0,0228	102,6	30	3078	0,6	1846,8
5000	0,0228	114	30	3420	0,6	2052

Fonte: Elaboração própria

3.3 ESCOLHA DO GERADOR E POTENCIAL DE GERAÇÃO

Haja vista que o objetivo deste trabalho é verificar a possibilidade de autossuficiência de energia elétrica, o gerador deve ser escolhido de forma que possa funcionar 24 horas por dia. Para esse cálculo, deve-se levar em consideração o consumo do gerador e a disponibilidade diária de biogás na propriedade.

De acordo com fornecedores, o menor gerador a biogás disponível é de 20 kVA, enquanto o maior é de 122 kVA. Na Tabela 3.3 são apresentados os consumos desses geradores, assim como suas capacidades de geração.

Tabela 3-3 – Consumo e Capacidade de Geração para Geradores a Biogás

REGIME CONTÍNUO				
Potência (kVA)	Potência (kW)	Fator de Potência	Consumo (m ³ /h)	Capacidade de Geração (kWh/m ³)
20	16	0,8	11	1,45454545
25	20	0,8	13	1,53846154
30	24	0,8	16	1,5
36	29	0,8	19	1,52631579
50	40	0,8	21	1,9047619
56	45	0,8	24	1,875
70	56	0,8	29	1,93103448
90	72	0,8	36	2
112	90	0,8	49	1,83673469
122	98	0,8	55	1,78181818

Fonte: Elaboração própria

O cálculo das horas de funcionamento do gerador pode ser feito pela divisão do volume de biogás disponível (P_{bio}) pelo consumo do gerador.

Para casos em que o volume de biogás é suficiente para gerar mais que 24 horas por dia com determinado gerador, é necessário analisar se o

excedente de biogás é suficiente para a escolha de um gerador maior que garanta esse tempo de funcionamento.

As Tabelas 3.4 e 3.5 a seguir mostram os geradores escolhidos, assim como a geração anual para cada cenário.

Tabela 3-4 – Geradores e Geração Anual para cada Cenário nas Unidades de Terminação (UT)

UNIDADE DE TERMINAÇÃO (UT)						
Nº Suínos	Pbio (m ³ /dia)	Gerador (kVA)	Consumo Gerador (m ³ /h)	Tempo de Geração (h)	Geração Anual (KWh)	Excedente Biogás (m ³ /dia)
500	40,5	20	11	3,68	21502,15	0,00
1000	81	20	11	7,36	43004,3	0,00
1500	121,5	20	11	11,05	64506,45	0,00
2000	162	20	11	14,73	86008,6	0,00
2500	202,5	20	11	18,41	107510,75	0,00
3000	243	20	11	22,09	129009,25	0,00
3500	283,5	20	11	24,00	140160	19,50
4000	324	25	13	24,00	175200	12,00
4500	364,5	25	13	24,00	175200	52,50
5000	405	30	16	24,00	210240	21,00

Fonte: Elaboração própria

Tabela 3-5 – Geradores e Geração Anual para cada Cenário nas Unidades de Produção de Leitões (UPL).

UNIDADE DE PRODUÇÃO DE LEITÕES (UPL)						
Nº Suínos	Pbio (m³/dia)	Gerador (kVA)	Consumo Gerador (m³/h)	Tempo de Geração (h)	Geração Anual (KWh)	Excedente Biogás (m³/dia)
500	205,2	20	11	18,65	108941,55	0,00
1000	410,4	30	16	24,00	210240	26,40
1500	615,6	56	24	24,00	394200	39,60
2000	820,8	70	29	24,00	490560	124,80
2500	1026	90	36	24,00	630720	162,00
3000	1231,2	112	49	24,00	788400	55,20
3500	1436,4	122	55	24,00	858480	116,40
4000	1641,6	1x122 + 1x20	66	24,00	998640	61,48
4500	1846,8	2x90	72	24,00	1261440	118,80
5000	2052	1+112 + 1x90	84	24,00	1419120	11,92

Fonte: Elaboração própria

3.4 CUSTOS ASSOCIADOS

Com o objetivo de verificar quais os custos associados à implantação do projeto de geração de energia a partir do tratamento de dejetos suínos foi necessário, primeiramente, definir e especificar os equipamentos e instalações pertinentes ao projeto.

Neste estudo, as partes integrantes do sistema serão divididas em três grupos, diferenciando-as de acordo com o escopo das obras, sendo: estruturas de elétrica; estruturas civil; estruturas do biodigestor.

3.4.1 Escopo de Obra Elétrica

Os componentes do sistema de geração são:

- Grupo motor gerador (GMG) de potência variável conforme quantidade de animais existentes na produção;
- Painel elétrico e equipamentos;
- Filtro para ácido sulfídrico (H₂S).

Atualmente, o motor a biogás do grupo motor gerador disponível no mercado é de ciclo Otto, quatro tempos, com 6 cilindros em linha, resfriado a água através de radiador com ventilador no eixo.

O gerador especificado é síncrono, de excitação tipo *brushless*, autoventilado, com quatro polos e ligação em estrela com neutro acessível. A rotação nominal do gerador é de 1800 rpm, frequência de 60 Hz, fator de potência igual a 0,8 indutivo. A regulação de tensão será feita por regulador de tensão eletrônico, o que assegura a precisão da tensão de saída quando há variações de carga.

Segundo os fornecedores consultados, o preço médio do grupo motor gerador varia em uma relação de R\$ 1.250,00 por kVA de potência nominal do equipamento. Neste valor está incluso o preço do painel de comando, proteção e transferência. Para cada gerador deve estar associado um filtro de ácido sulfídrico cujo custo é R\$ 20.000,00.

Assim, o cálculo geral para estimar o preço do gerador deve ser:

$$\text{Preço} = \text{Preço do Filtro} + (S \times 1250)$$

Sendo S a potência do gerador em kVA.

Visto que cada cenário estudado neste trabalho apresenta potências instaladas diferentes, então os custos de investimento com gerador variam de acordo com a relação apresentada nas Tabelas 3.6 e 3.7.

Tabela 3-6 – Custo do Sistema de Geração para os diferentes Cenários de Unidades de Terminação (UT)

UNIDADE DE TERMINAÇÃO (UT)				
Nº Suínos	Gerador (kVA)	Custo Gerador (R\$)	Custo Filtro (R\$)	Custo Sistema Geração (R\$)
500	20	25.000,00	20.000,00	45.000,00
1000	20	25.000,00	20.000,00	45.000,00
1500	20	25.000,00	20.000,00	45.000,00
2000	20	25.000,00	20.000,00	45.000,00
2500	20	25.000,00	20.000,00	45.000,00
3000	20	25.000,00	20.000,00	45.000,00
3500	20	25.000,00	20.000,00	45.000,00
4000	25	31.250,00	20.000,00	51.250,00
4500	25	31.250,00	20.000,00	51.250,00
5000	30	37.500,00	20.000,00	57.500,00

Fonte: Elaboração própria

Tabela 3-7 – Custo do Sistema de Geração para os diferentes Cenários de Unidades de Produção de Leite (UPL)

UNIDADE DE PRODUÇÃO DE LEITE (UPL)				
Nº Suínos	Gerador (kVA)	Custo Gerador (R\$)	Custo Filtro (R\$)	Custo Sistema Geração (R\$)
500	20	25.000,00	20.000,00	45.000,00
1000	30	37.500,00	20.000,00	57.500,00
1500	56	70.000,00	20.000,00	90.000,00
2000	70	87.500,00	20.000,00	107.500,00
2500	90	112.500,00	20.000,00	132.500,00
3000	112	140.000,00	20.000,00	160.000,00
3500	122	152.500,00	20.000,00	172.500,00
4000	1x122 + 1x20	177.500,00	20.000,00	217.500,00
4500	2x90	225.000,00	20.000,00	265.000,00
5000	1+112 + 1x90	252.500,00	20.000,00	292.500,00

Fonte: Elaboração própria

3.4.2 Escopo de Obra Civil

O item pertinente ao escopo da obra de construção civil é a construção de abrigo em alvenaria, com devida fundação, adequado para abrigo do grupo motor gerador e painel de comando do mesmo.

O abrigo deverá ter espaço suficiente para conter o grupo motor gerador, além do quadro de força. Ao analisar os catálogos disponibilizados por fornecedores, verifica-se que para cada faixa de potência nominal, há um dimensionamento diferenciado para o equipamento.

A Tabela 3.8 mostra as áreas de abrigos necessárias para cada gerador.

Tabela 3-8 – Dimensão dos Geradores e Áreas dos Abrigos

Faixa de Potência em KVA	Dimensões do Equipamento (mm)			Área do Abrigo (m ²)
	Comp.	Larg.	Alt.	
20 a 36	1300	1000	1050	7,02
50 a 56	1900	720	1050	9,18
70	2300	800	1400	10,26
90	2600	850	1700	11,34
112	2800	1000	1750	11,88
122	3000	1000	1900	12,96

Fonte: Elaboração própria

O Custo Unitário Básico da Construção Civil (CUB) é o principal indicador do setor e é aferido mensalmente pelos sindicatos da indústria da construção civil de todo o país. O CUB indica o valor global de uma obra, incluindo materiais e mão de obra, além de taxas administrativas e equipamentos. A partir deste indicador é possível estimar qual o preço de um determinado projeto de edificação, tendo um parâmetro comparativo à realidade dos custos do mercado de construção civil.

Para determinar o valor referente à construção do abrigo em alvenaria do grupo motor gerador, será utilizado o CUB calculado no mês de fevereiro de 2016 pelo sindicato da indústria da construção civil no estado do Paraná, admitindo-se a localização das propriedades neste estado. O índice apresenta o preço calculado do metro quadrado para galpões industriais, sendo esta a referência que será utilizada neste trabalho.

De acordo com tais premissas, o valor do CUB indicado é de R\$ 714,00 por metro quadrado de área construída. Dessa forma, o custo total da obra do abrigo do GMG deve ser:

$$\text{Custo} = \text{Área} \times 714$$

As Tabelas 3.9 e 3.10 apresentam os custos dos abrigos para cada cenário de cada tipo de Unidade.

Tabela 3-9 – Custo do Abrigo do Gerador para cada Cenário de Unidades de Terminação (UT)

UNIDADE DE TERMINAÇÃO (UT)			
Nº Suínos	Gerador (kVA)	Área do Abrigo (m²)	Custo Abrigo (R\$)
500	20	7,02	5.012,28
1000	20	7,02	5.012,28
1500	20	7,02	5.012,28
2000	20	7,02	5.012,28
2500	20	7,02	5.012,28
3000	20	7,02	5.012,28
3500	20	7,02	5.012,28
4000	25	7,02	5.012,28
4500	25	7,02	5.012,28
5000	30	7,02	5.012,28

Fonte: Elaboração própria

Tabela 3-10 – Custo do Abrigo do Gerador para cada Cenário de Unidades de Produção de Leitões (UPL)

UNIDADE DE PRODUÇÃO DE LEITÕES (UPL)			
Nº Suínos	Gerador (kVA)	Área do Abrigo (m²)	Custo Abrigo (R\$)
500	20	7,02	5.012,28
1000	30	7,02	5.012,28
1500	56	9,18	6.554,52
2000	70	10,26	7.325,64
2500	90	11,34	8.096,76
3000	112	11,88	8.482,32
3500	122	12,95	9.253,44
4000	1x122 + 1x20	19,97	14.265,72
4500	2x90	22,68	16.193,52
5000	1+112 + 1x90	23,22	16.579,08

Fonte: Elaboração própria

3.4.3 Escopo do Biodigestor

Os seguintes itens são componentes de custo para a instalação do biodigestor:

- Manta em PVC;
- Tubos e conexões;
- Acessórios de fixação;
- Parte civil e bomba hidráulica;
- Terraplenagem e escavação;
- Mão de obra.

Martins et al. (2011) calcularam um orçamento para construção de biodigestor, baseado em quatro volumes diferentes de biodigestor. A Tabela 3.11 apresenta estes valores referentes ao estudo realizado no ano de 2011.

Tabela 3-11 – Orçamento de Biodigestores com preços referência 2011

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

Fonte: Adaptado de MARTINS et al. (2011)

De forma a atualizar os preços base do ano de 2011 para a referência atual, 2016, utilizou-se o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), que reflete a inflação acumulada no período demandado, sendo calculado periodicamente pelo IBGE. Para isso, foi usada a calculadora de correção de valor por índice, chamada calculadora do cidadão e disponível no sítio eletrônico do Banco Central do Brasil. A Tabela 3.12 apresenta os resultados obtidos dos preços atualizados para o ano de 2016.

Tabela 3-12 – Orçamento Atualizado dos Biodigestores

Vol. Biodig. (m ³)	Escavação (R\$)	Parte civil (R\$)	Tubos e Conexões (R\$)	Manta (R\$)	Acessórios e Fixação (R\$)	Mão de Obra (R\$)	Total (R\$)
625	7.176,51	15.788,04	1.978,01	34.568,03	6.936,88	5.582,19	72.029,63
875	7.783,21	16.157,88	1.838,11	39.373,14	7.367,66	6.434,06	78.954,04
1125	9.777,84	19.084,72	2.428,18	49.250,71	8.596,30	7.823,38	96.961,13
1375	12.031,49	21.975,55	2.469,74	58.629,62	10.426,09	8.743,12	114.275,62

Fonte: Elaboração própria

Na Figura 3.1 verifica-se a relação de variação entre o custo total do biodigestor e a sua capacidade de volume em metros cúbicos.

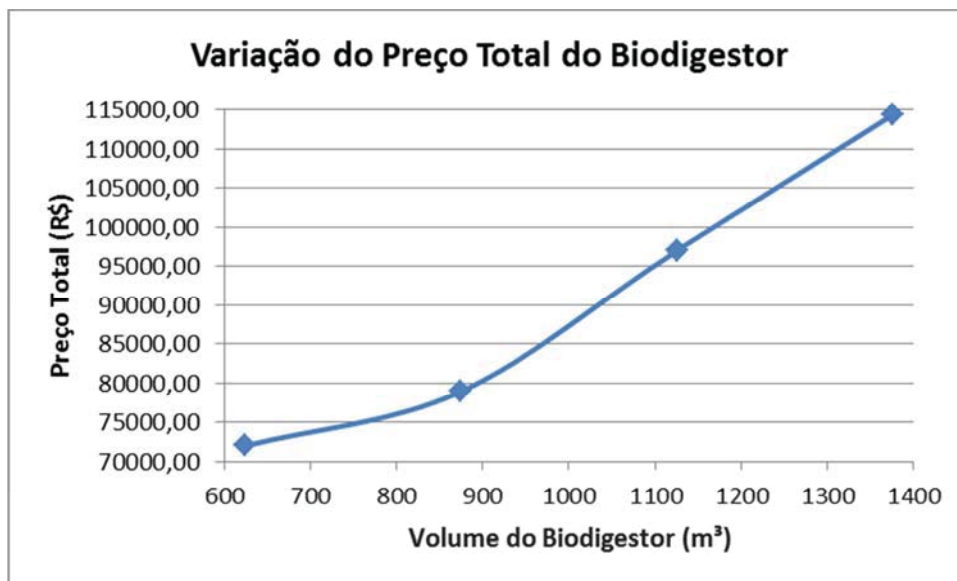


Figura 3-1 – Gráfico da Variação do Preço Total do Biodigestor em relação ao Volume
Fonte: Elaboração própria

No Figura 3.2 é possível perceber a atuação de cada item pertencente ao orçamento do biodigestor e, também, a variação dos preços para os quatro volumes diferentes.

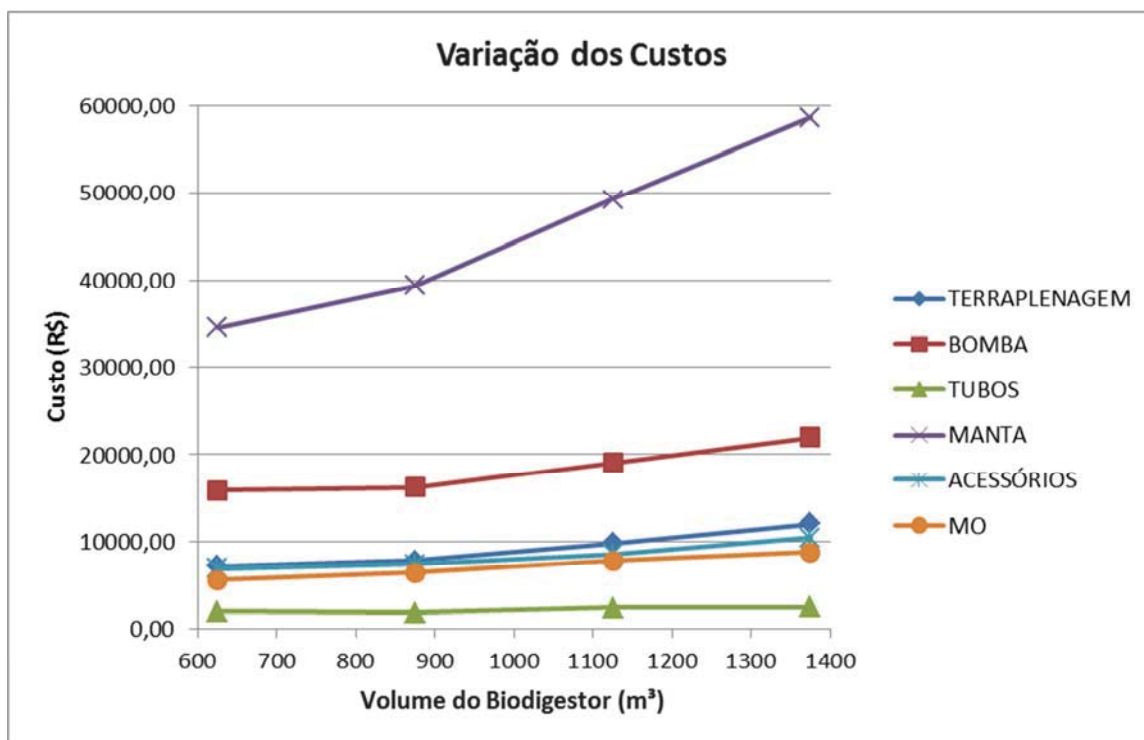


Figura 3-2 – Gráfico da Variação dos Custos Unitários conforme Volume dos Biodigestores
Fonte: Elaboração própria

Percebe-se que a variação mais significativa, dentre os componentes de preço do biodigestor, é a manta. Portanto, para este trabalho, foi adotada uma metodologia que permitiu estimar o preço de variados volumes de biodigestor.

- Uma vez que os demais itens apresentam menor variação de custo comparativamente à manta, considerou-se estes constantes na composição do valor médio.
- O valor da manta será o único a variar conforme o volume em m³ do biodigestor. Para tal, será calculado o seu preço médio em R\$ por m³ e então, multiplicado por cada volume de biodigestor desejado.
- O valor constante da média dos demais preços será somado ao valor da manta referente a cada volume, obtendo-se o custo total de diferentes biodigestores.

Seguindo os passos acima citados, chega-se a fórmula que resulta no preço total de um biodigestor (Cbio) em função de seu volume em m³ (Vbio), como apresentado nas Tabelas 3.13 e 3.14.

Tabela 3-13 – Valor Médio dos Itens a serem mantidos constantes

Volume do Biodigestor (m ³)	Escavação e Terraplenagem (R\$)	Parte civil e Bomba hidráulica (R\$)	Tubos e Conexões (R\$)	Acessórios e Fixação (R\$)	Mão de Obra (R\$)	Total (R\$)
625	7.176,51	15.788,04	1.978,01	6.936,88	5.582,19	37.461,63
875	7.783,21	16.157,88	1.838,11	7.367,66	6.434,06	39.580,92
1125	9.777,84	19.084,72	2.428,18	8.596,30	7.823,38	47.710,42
1375	12.031,49	21.975,55	2.469,74	10.426,09	8.743,12	55.645,99
Média	9.192,26	18.251,55	2.178,51	8.331,73	7.145,69	45.099,74

Fonte: Elaboração própria

Tabela 3-14 – Valor Médio da Manta em R\$/m³

Volume do Biodigestor (m ³)	Manta em PVC (R\$)	Custo Manta em PVC (R\$/m ³)	Média Custo Manta em PVC (R\$/m ³)
625	34.568,028	55,31	46,68
875	39.373,1446	45,00	
1125	49.250,7134	43,78	
1375	58.629,625	42,64	

Fonte: Elaboração própria

De acordo com esses valores, a fórmula final do custo total do biodigestor é:

$$C_{bio} = 45.099,74 + 46,68 \times V_{bio}$$

Finalmente, as Tabelas 3.15 e 3.16 apresentam os valores de C_{bio}.

Tabela 3-15 – Custo do Biodigestor para cada Cenário de Unidades de Terminação (UT)

UNIDADE DE TERMINAÇÃO (UT)		
Nº Suínos	V _{bio} (m ³)	C _{bio} (R\$)
500	67,5	48.250,64
1000	135	51.401,54
1500	202,5	54.552,44
2000	270	57.703,34
2500	337,5	60.854,24
3000	405	64.005,14
3500	472,5	67.156,04
4000	540	70.306,94
4500	607,5	73.457,84
5000	675	76.608,74

Fonte: Elaboração própria

Tabela 3-16 – Custo do Biodigestor para cada Cenário de Unidades de Produção de Leitões (UPL)

UNIDADE DE PRODUÇÃO DE LEITÕES (UPL)		
Nº Suínos	Vbio (m ³)	Cbio (R\$)
500	342	61.064,30
1000	684	77.028,86
1500	1026	92.993,42
2000	1368	108.957,98
2500	1710	124.922,54
3000	2052	140.887,10
3500	2394	156.851,66
4000	2736	172.816,22
4500	3078	188.780,78
5000	3420	204.745,34

Fonte: Elaboração própria

3. 5 CÁLCULO DOS CUSTOS DE INVESTIMENTO

CAPEX, sigla em inglês para *Capital Expenditure*, ou capital de investimento, se refere ao investimento total de implantação e aquisição de um sistema (BERNS et al., 2015).

No caso deste estudo, como já explicado, o CAPEX abrange os custos do gerador, do biodigestor e do abrigo. Os valores de CAPEX obtidos para cada cenário variam conforme as Tabelas 3.17 e 3.18 a seguir.

Tabela 3-17 – CAPEX para cada Cenário de Unidades de Terminação (UT)

UNIDADE DE TERMINAÇÃO (UT)	
Nº Suínos	CAPEX (R\$)
500	98.262,92
1000	101.413,82
1500	104.564,72
2000	107.715,62
2500	110.866,52
3000	114.017,42
3500	117.168,32
4000	126.569,22
4500	129.720,12
5000	139.121,02

Fonte: Elaboração própria

Tabela 3-18 – CAPEX para cada Cenário de Unidades de Produção de Leitões (UPL)

UNIDADE DE PRODUÇÃO DE LEITÕES (UPL)	
Nº Suínos	CAPEX (R\$)
500	111.076,58
1000	139.541,14
1500	189.547,94
2000	223.783,62
2500	265.519,30
3000	309.369,42
3500	338.605,10
4000	404.581,94
4500	469.974,30
5000	513.824,42

Fonte: Elaboração própria

3.6 CÁLCULO DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO

OPEX, sigla em inglês para *Operational Expenditure*, ou capital de operação, se refere aos custos de operação e manutenção de um empreendimento. Ele leva em consideração gastos com reposição de equipamentos, gastos com manutenção preventiva e corretiva, de modo a garantir a vida útil do empreendimento (BERNS et al., 2015).

Baseado em estudo feito por Martins et al. (2011), o custo de manutenção anual do biodigestor é estimado em 2,5% do valor de aquisição. Já para o sistema de geração, este valor é de 6,9%.

As Tabelas 3.19 e 3.20 apresentam os custos de OPEX para os cenários estudados.

Tabela 3-19 – OPEX para cada Cenário de Unidades de Terminação (UT)

UNIDADE TERMINAÇÃO (UT)	
Nº Suínos	OPEX (R\$)
500	2.931,27
1000	3.010,04
1500	3.088,81
2000	3.167,58
2500	3.246,36
3000	3.325,13
3500	3.403,90
4000	3.913,92
4500	3.992,70
5000	4.502,72

Fonte: Elaboração própria

Tabela 3-20 – OPEX para cada Cenário de Unidades de Produção de Leitões (UPL)

UNIDADE DE PRODUÇÃO DE LEITÕES (UPL)	
Nº Suínos	OPEX (R\$)
500	3.251,61
1000	4.513,22
1500	7.154,84
2000	8.761,45
2500	10.885,56
3000	13.182,18
3500	14.443,79
4000	16.567,91
4500	20.244,52
5000	22.541,13

Fonte: Elaboração própria

3.7 CÁLCULO DE TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO

Uma das bases para a realização de qualquer projeto de investimento é o retorno econômico que este deverá gerar.

“Para que haja a criação de valor ou riqueza os retornos destes investimentos deverão ser superiores ao custo dos capitais neles empregados, fazendo com que os valores líquidos dos resultados sejam positivos, agregando riqueza para o investidor e para o próprio investimento.” (MARQUEZAN, 2006, pg.2).

De forma a calcular os retornos obtidos de um investimento, existem diversos indicadores que podem ser verificados em um estudo de análise econômica, como o Valor Presente Líquido (VPL) e o *payback*. O *payback* representa o tempo decorrido para que aconteça a recuperação do investimento inicial e sua vantagem em relação ao método do Valor Presente Líquido (VPL) é justamente levar em conta o prazo de retorno do investimento (MARQUEZAN, 2006).

Este indicador pode ser calculado sem consideração da desvalorização do capital ao longo do tempo, sendo este método conhecido como *payback* simples. Já, no caso do *payback* descontado, a desvalorização do dinheiro é considerada no procedimento de cálculo, aplicando-se a taxa de juros apropriada. As variáveis necessárias no cálculo de *payback* descontado são o valor do investimento no ano zero, o valor dos investimentos nos anos seguintes, e os lucros anuais obtidos (DI PIERO et al., 2004).

Para que um produtor possa avaliar o retorno de seu investimento em geração de energia através da utilização do biogás, deverá conhecer os seguintes indicadores previamente: valor do Quilowatt-hora (kWh) vigente no período analisado, valor total no ano gasto com energia elétrica, a taxa SELIC vigente e os valores de CAPEX e OPEX do cenário que se ajusta à sua propriedade.

Apesar da propriedade se tornar autossuficiente em energia elétrica, o produtor ainda tem que pagar a taxa de disponibilidade cobrada mensalmente pela concessionária. Esta taxa é um valor referente ao custo de disponibilidade do sistema elétrico, e varia dependendo se a propriedade é alimentada em rede monofásica, bifásica ou trifásica. Na resolução da ANEEL (Resolução Normativa 414/2010) vigente atualmente, ficou estabelecido que a taxa de disponibilidade é o valor em moeda corrente referente a 30 kWh para sistemas monofásicos ou bifásicos a 2 condutores, 50 kWh para sistemas bifásicos a 3 condutores e 100 kWh para sistemas trifásicos.

Para o cálculo do *payback*, o valor referente ao retorno anual do produtor deve ser o valor gasto com energia elétrica durante o ano, descontados os valores mensais das taxas de disponibilidade.

Primeiramente, deve-se calcular o fluxo de caixa que é a diferença entre os retornos e os investimentos de cada ano. De forma a verificar a desvalorização do capital, o fluxo de caixa é atualizado para o Valor Presente (VP) através da aplicação de juros compostos. O Valor Presente Líquido é calculado somando-se o VPL do ano n com o VP do ano $n+1$. Por fim, o prazo de *payback* descontado é verificado no ano em que o VPL passa de um valor negativo para um positivo.

3.8 ESTUDO DE CASO

A fim de validar os dados levantados por este estudo, este item apresenta a análise de viabilidade econômica da aquisição de um sistema de geração de energia elétrica a partir do biogás obtido do tratamento de dejetos suínos para uma propriedade no interior do estado do Paraná. A propriedade está localizada na região de Cascavel e possui, de forma rotativa e contínua, 500 matrizes na Unidade de Produção de Leitões (UPL) e 3500 suínos na Unidade de Terminação (UT).

Atualmente o tratamento do dejetos é feito apenas por meio de lagoas aeróbicas de decantação, gerando como produto final o biofertilizante que é utilizado nas propriedades de eucalipto. Em vista do potencial de obtenção do biogás, será analisada a viabilidade de autossuficiência através da implantação do sistema de geração de energia elétrica. A Tabela 3.21 apresenta o perfil da propriedade e os dados de potencial de produção de biogás e volume do biodigestor.

Tabela 3-21 – Perfil da Propriedade localizada em Cascavel/PR

Tipo de Unidade	Número de Animais	Vdej (m³/animal.dia)	Vdej total (m³/dia)	Vbio (m³)	Pbio (m³/dia)
UPL	500	0,0228	11,4	342	205,2
UT	3500	0,0045	15,75	472,5	283,5
UPL + UT	4000	-	27,15	814,5	488,7

Fonte: Elaboração própria

3.8.1 Potencial de Geração e Investimento

O método de cálculo apresentado neste trabalho mostra a possibilidade de se alimentar um gerador de 36 kVA por 24 horas com o volume de biogás disponível, como apresentado na Tabela 3.22.

Tabela 3-22 – Resultados obtidos para Gerador de 36 kVA

Gerador (kVA)	Gerador (kW)	Consumo Gerador (m ³ /h)	Tempo de Geração (h/dia)	Geração Anual (kWh/ano)	Excedente (m ³ /dia)
36	29	19	24	254040	32,7

Fonte: Elaboração própria

O sistema proposto tem potencial de geração de 254.040 kWh por ano. Como a quantidade de biogás disponível é maior que a necessária para a geração durante 24 horas, há um excedente de 32,7 m³ por dia.

O custo total de investimento deste sistema (CAPEX), incluindo biodigestor e abrigo, seria de R\$ 153.132,88 e o custo anual de manutenção (OPEX) seria de R\$ 5.183,01 conforme apresentado na Tabela 3.23.

Tabela 3-23 – CAPEX e OPEX para o Sistema Proposto

Custo Sistema de Geração (R\$)	Custo Biodigestor (R\$)	Custo Abrigo (R\$)	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)
65.000	83.120,60	5.012,28	153.132,88	5.183,01

Fonte: Elaboração própria

3.8.2 Consumo da Propriedade

Além da granja, a fazenda conta com casas de funcionários, escritório, casa-sede, depósito de materiais e oficinas de manutenção. Dentre toda a carga instalada, os equipamentos que têm consumo mais representativo estão apresentados na Tabela 3.24 a seguir.

Tabela 3-24 – Cargas Instaladas com Consumo mais representativo

Equipamento	Quantidade
Forno Elétrico	3
Microondas	3
Geladeira	8
Freezer	4
Chuveiro	11
Motor 3 cv	4
Motor 4 cv	2
Motor 5 cv	1
Motor 0,5 cv	7
Aquecedor	20
Lâmpada incandescente 100W	96

Fonte: Elaboração própria

Há três medidores de energia que contabilizam o consumo de toda a propriedade. A Tabela 3.25, a seguir, mostra a média de consumo mensal entre os anos de 2013 e 2015.

Tabela 3-25 – Média do Consumo Mensal da Propriedade entre os anos de 2013 e 2015

Mês	Medidor A (kWh)	Medidor B (kWh)	Medidor C (kWh)	Total (kWh)
Dezembro	2325,33	4392	1423,33	8140,67
Novembro	1919,67	4347,33	1951,33	8218,33
Outubro	2368,33	4846,33	2256	9470,67
Setembro	2082,33	4630	2430,33	9142,67
Agosto	2617	5417	3001,33	11035,33
Julho	1983,33	4791,33	2850,67	9625,33
Junho	2231	5648	2103	9982,00
Mai	1894	3863,33	2214	7971,33
Abril	2583	3363,67	1224,67	7171,33
Março	3072,33	2857	1517,67	7447,00
Fevereiro	2333,67	3476	2439,33	8249,00
Janeiro	2331,33	3272	1741,33	7344,67
Consumo Anual	27741,33	50904	25153,00	103798,33

Fonte: Elaboração própria

3.8.3 Proposição de um Novo Sistema

Como o potencial de geração do sistema proposto é de 254.040 kWh por ano e o consumo anual da propriedade é de 103.798,93 kWh, verificou-se a possibilidade da redução da potência do gerador, uma vez que a quantidade de energia gerada é aproximadamente 2,5 vezes maior que a energia consumida na propriedade.

Neste caso, escolheu-se um gerador de 20 kVA, o qual também seria capaz de funcionar por 24 horas, gerando 140.160 kWh por ano, valor próximo do consumo real da propriedade, conforme Tabela 3.26. A redução da potência do gerador reflete em menores custos de implantação do sistema (CAPEX) e de operação e manutenção anual (OPEX), conforme Tabela 3.27.

Tabela 3-26 – Resultados obtidos para Gerador de 20 kVA

Gerador (kVA)	Gerador (kW)	Consumo Gerador (m ³ /h)	Tempo de Geração (h/dia)	Geração Anual (kWh/ano)	Excedente (m ³ /dia)
20	16	11	24	140.160	224,7

Fonte: Elaboração própria

Tabela 3-27 – CAPEX e OPEX para o novo Sistema com Gerador de 20 kVA

Custo Sistema de Geração (R\$)	Custo Biodigestor (R\$)	Custo Abrigo (R\$)	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)
45.000,00	83.120,60	5.012,28	133.132,88	3.803,01

Fonte: Elaboração própria

3.8.4 Retorno do Capital Investido

Para verificar a viabilidade econômica comparativa entre os dois sistemas propostos utilizou-se a metodologia de tempo de retorno de capital apresentada no item 3.7.

Foram considerados os investimentos para o ano zero os valores de CAPEX de cada sistema. Da mesma maneira, os investimentos dos anos seguintes são relativos ao OPEX.

Para cálculo de retorno, foi considerado o valor da tarifa do subgrupo B2 rural convencional da COPEL com vigência a partir de 24/06/2015 no valor de R\$0,50612 e juros de 14,15% ao ano correspondente à taxa SELIC no mês de abril de 2016. Levando em consideração a taxa mínima de disponibilidade no valor de 100 kWh por mês, este custo mensal foi subtraído do montante de economia gerada pelo sistema, que é equivalente ao consumo anual do produtor multiplicado pela tarifa vigente. As Tabelas 3.28 e 3.29 mostram os cálculos do tempo de retorno para os sistemas de 36 e 20 kVA, respectivamente.

Tabela 3-28- Cálculo do Tempo de Retorno de Capital para Sistema de 36 kVA

Ano de Referência	0	1	2	3	4	5
Invest. (R\$)	153.132,88	5.183,02	5.183,02	5.183,02	5.183,02	5.183,02
Retornos (R\$)		51.927,07	51.927,07	51.927,07	51.927,07	51.927,07
F. de Caixa (R\$)	-153132,88	46.744,05	46.744,05	46.744,05	46.744,05	46.744,05
V. P. (R\$)	-153132,89	40.949,67	35.873,56	31.426,69	27.531,04	24.118,3
V.P.L. (R\$)	-153132,90	-112.183,21	-76.309,64	-44.882,95	-17.351,91	6.766,4

Fonte: Elaboração própria

Tabela 3-29 – Cálculo do Tempo de Retorno de Capital para Sistema de 20 kVA

Ano de Referência	0	1	2	3	4
Invest. (R\$)	133.132,88	3.803,02	3.803,02	3.803,02	3.803,02
Retornos (R\$)		51.927,07	51.927,07	51.927,07	51.927,07
F. de Caixa (R\$)	-133.132,88	48.124,05	48.124,05	48.124,05	48.124,05
V.P. (R\$)	-133.132,89	42.158,61	36.932,64	32.354,48	28.343,83
V.P.L. (R\$)	-133.132,90	-90.974,27	-54.041,63	-21.687,15	6.656,68

Fonte: Elaboração própria

Os resultados obtidos das Tabelas 3.28 e 3.29 são mostrados na Figura 3.3. A fim de mostrar o ponto de inflexão de ambas as curvas, o tempo decorrido foi delimitado entre o terceiro e quinto anos.



Figura 3-3 – Gráfico do Retorno do Capital Investido
Fonte: Elaboração própria

Os resultados obtidos mostram que para a alternativa com gerador de 36 kVA, o sistema se pagaria em 4,7 anos. Já o sistema com gerador de 20 kVA se pagaria em 3,75 anos. Pode-se considerar que esses prazos são interessantes do ponto de vista do investimento comparado com outras fontes renováveis, como a fotovoltaica. Outro ponto é que o sistema se paga antes da necessidade da troca do gerador. Um investimento com prazo de retorno inferior a 5 anos é considerado bom.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como objetivo final, este trabalho procurou cenários em Unidades de Terminação (UT) e Unidades de Produção de Leitões (UPL) em que o produtor consegue se tornar autossuficiente em energia elétrica, não dependendo da compra de energia proveniente da concessionária. Foram analisados cenários de 500 a 5000 suínos em incrementos de 500 animais para os dois tipos de unidades. Uma súmula com todas as informações sobre cada cenário pode ser visto no Apêndice A.

Conforme pode ser visto nas Figuras 4.1 e 4.2, onde é apresentado o tempo de geração em relação ao número de animais, a autossuficiência é possível para plantéis acima de 3500 suínos nas Unidades de Terminação e acima de 1000 suínos nas Unidades de Produção de Leitões.

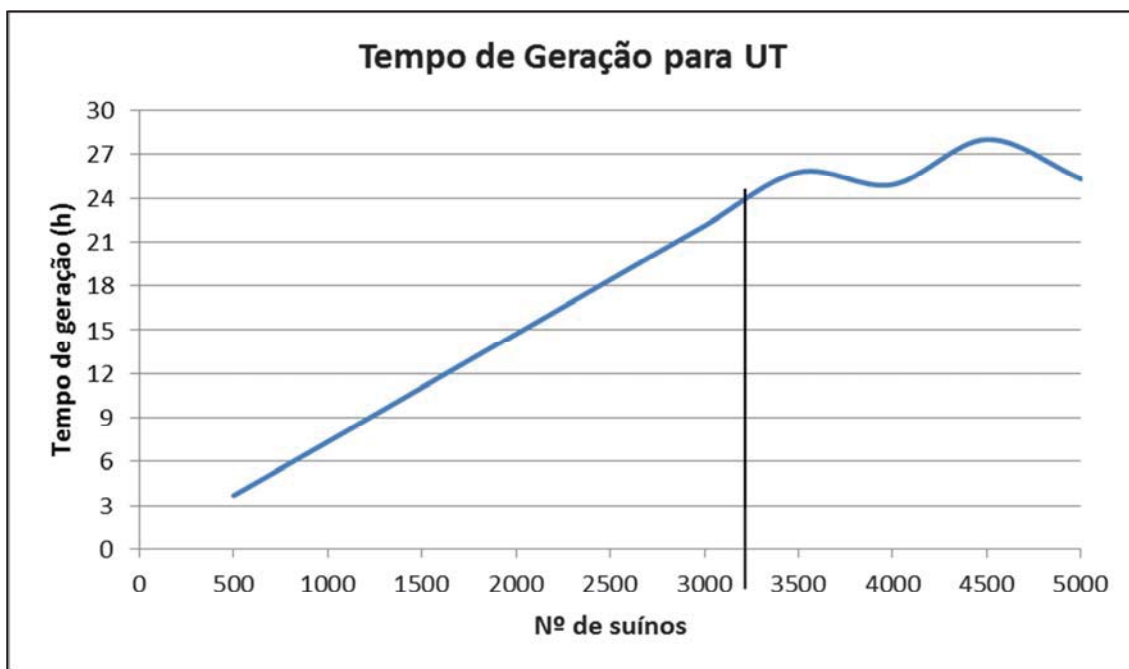


Figura 4-1- Tempo de Geração em relação ao Plantal para Unidades de Terminação (UT).
Fonte: Elaboração própria

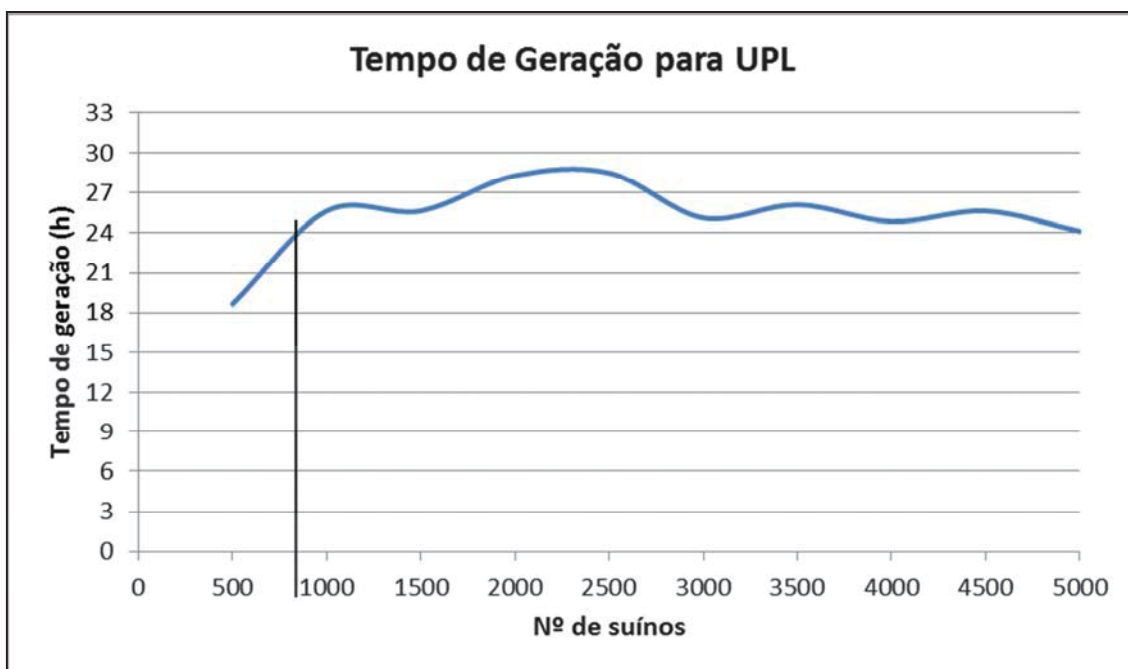


Figura 4-2 – Tempo de Geração em relação ao Plantel para Unidades de Produção de Leitões (UPL)
 Fonte: Elaboração própria

A quantidade de dejetos produzidos em plantéis menores que 1000 animais na UPL e 3500 animais na UT não fornece biogás suficiente para alimentar um gerador 24 horas por dia, por isso não se enquadram na condição de autossuficiência.

A Figura 4.3 relaciona o investimento para a implantação do sistema e a variação do número de suínos para os casos de Unidades de Terminação e Unidades de Produção de Leitões. Da mesma maneira, a Figura 4.4 exibe essa relação para os custos de manutenção do sistema.

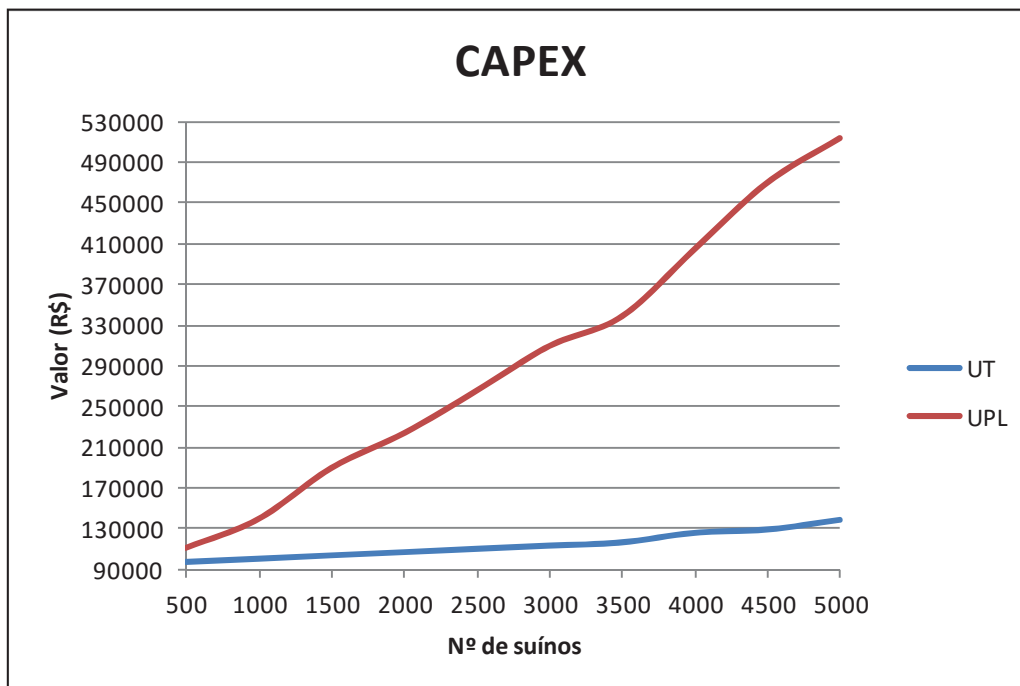


Figura 4-3 – Variação do CAPEX em Relação ao Número de Suínos para UT e UPL
Fonte: Elaboração própria

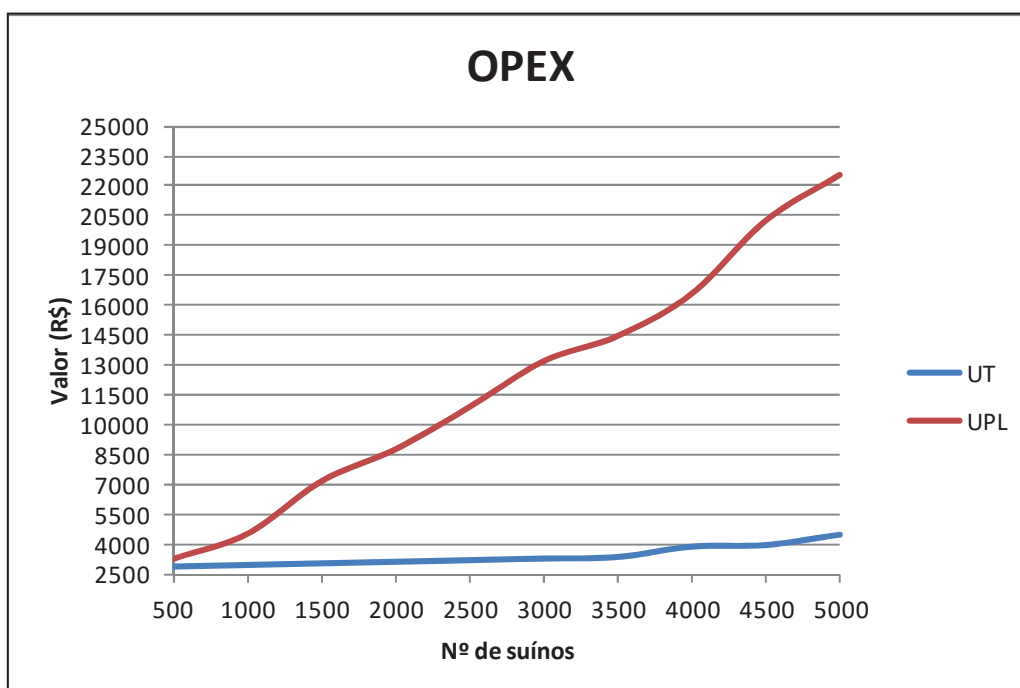


Figura 4-4 – Variação do OPEX em Relação ao Número de Suínos para UT e UPL
Fonte: Elaboração própria

Percebe-se que para as Unidades de Produção de Leitões, tanto os custos de investimento quanto os de manutenção são bastante elevados quando comparados com as Unidades de Terminação. Isso se deve à maior

produção de biogás na UPL, uma vez que um animal nessa unidade gera aproximadamente cinco vezes mais dejetos que um animal na UT. Por isso, o sistema de geração é mais robusto e mais caro, porém apresenta maior capacidade de geração anual.

Baseando-se nos dados e métodos explicados neste trabalho e com o auxílio da planilha apresentada no Apêndice B, para os casos em que há possibilidade de autossuficiência, foi calculado o consumo de energia elétrica anual da propriedade necessário para que o sistema se pague em 5, 10 e 15 anos. Estes resultados são mostrados nas Tabelas 4.1 e 4.2.

Tabela 4-1 – Consumo Anual necessário para Retorno de Capital em 5,10 e 15 anos para Unidades de Terminação (UT)

UNIDADE DE TERMINAÇÃO (UT)			
Nº de suínos	Consumo anual (kWh) para tempo de retorno de:		
	5 anos	10 anos	15 anos
500	-	-	-
1000	-	-	-
1500	-	-	-
2000	-	-	-
2500	-	-	-
3000	-	-	-
3500	75000	52500	46000
4000	80000	57500	50000
4500	83000	59500	51500
5000	88000	63500	55500

Fonte: Elaboração própria

Tabela 4-2 – Consumo anual necessário para Retorno de Capital em 5,10 e 15 anos para Unidades de Produção de Leitões (UPL)

UNIDADE DE PRODUÇÃO DE LEITÕES (UPL)			
Nº de suínos	Consumo anual (kWh) para tempo de retorno de:		
	5 anos	10 anos	15 anos
500	-	-	-
1000	89000	63750	56000
1500	122000	88500	77500
2000	145000	105000	92500
2500	175000	125000	110000
3000	200000	145000	127500
3500	225000	160000	141500
4000	265000	190000	168500
4500	300000	215000	190500
5000	335000	235000	208000

Fonte: Elaboração própria

Verifica-se que quanto maior número de suínos, maior deve ser o consumo de energia elétrica da propriedade para que o sistema se pague nos períodos definidos. Porém, na prática, não há uma relação direta entre número de suínos e consumo da granja.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos realizados indicam que, para os casos onde é possível a autossuficiência, a viabilidade de implantação do sistema de tratamento de dejetos suínos para a geração de energia elétrica depende não só do número de animais, mas também do consumo de eletricidade da propriedade. Quando a capacidade de geração é maior que o consumo, podem-se escolher geradores com potências menores, o que reduz o CAPEX e o OPEX, e, conseqüentemente, o tempo de retorno do investimento.

A análise realizada para a propriedade localizada em Cascavel/PR aponta justamente a importância dessa verificação. A produção de biogás dessa propriedade tem capacidade para instalação de um gerador de 36 kVA, gerando 254.040 kWh por ano, entretanto, o consumo anual é de 103.798 kWh. Definindo um gerador de 20 kVA que ainda poderia funcionar por 24 horas, não perdendo dessa forma a premissa do estudo, a geração de energia elétrica fica mais próxima do consumo do produtor, reduzindo o custo de implantação e manutenção do sistema. O resultado final da definição de um gerador menor foi a recuperação do investimento em um período aproximadamente um ano menor do que aquele verificado para o sistema com gerador maior.

Nos casos em que não há a possibilidade de autossuficiência, o produtor ainda pode investir na obtenção do sistema de geração e trabalhar no Sistema de Compensação de Energia Elétrica junto à concessionária, conectando seu gerador à rede.

Porém, a possibilidade de conectar o gerador na rede da concessionária também está disponível para os casos de autossuficiência. Os benefícios da conexão são o aumento da confiabilidade do sistema e a possibilidade de vender energia para o mercado livre e também de trabalhar com o Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

A vantagem do Sistema de Compensação de Energia Elétrica é poder utilizar o excedente quando o gerador estiver parado para manutenção ou para alimentar outra propriedade que esteja registrada com o mesmo CPF ou CNPJ junto à mesma concessionária.

Para o cálculo da viabilidade e retorno de investimento para casos com gerador conectado à rede e o produtor trabalhando no Sistema de Compensação de Energia, fazem-se necessários maiores estudos.

É possível também diminuir os prazos de retorno de investimento quando o biogás excedente for aproveitado para outras utilizações, como o aquecimento de ambientes e uso em fornos de secagem de ração. Novos estudos podem ser feitos visando essa possibilidade.

Além disso, estudos futuros também podem ser feitos propondo a integração do sistema com outras fontes alternativas de energia dentro da propriedade, como a fotovoltaica e a eólica.

REFERÊNCIAS

- BARRERA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para zona rural**. São Paulo: Ícone, 2003.
- BAITELO, R. L.; FUJI, R. J.; TESKE, S. **Revolução Energética: um cenário energético sustentável para 2050**. Revista Brasileira de Energia, Vol. 20, nº 2, 2ª Sem. 2014, pp.133-142.
- BERNS, B. A.; SCHNICKE, H.; BOMBONATTI, P. **Anteprojeto de uma usina de pesquisa e capacitação em biogás/Probiogás**. Brasília, 2015.
- BIPERS - **Coletânea de Tecnologias sobre Dejetos Suínos**. EMBRAPA, 2002.
- BLEY JR. **Biogás: a energia invisível**. 2ª ed. rev. e ampl.; São Paulo : CIBiogás; Foz do Iguaçu : ITAIPU Binacional, 2015.
- BRONZATTI, F. L.; IAROZINSKI NETO, A. **Matrizes Energéticas no Brasil: Cenário 2010 – 2030**. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – A integração de cadeias produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, 2008.
- CABRAL, C. B. G. et al. **Tecnologias de digestão anaeróbica com relevância para o Brasil: substratos, digestores e uso de biogás/Probiogás**. Brasília, 2015.
- CAMPOS, A.T. **Uso de Energia em Construção Rural**. In: Encontro de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída, 2004, Campinas. NIPE/SBEA/UNICAMP, 2004. V. 1 p. 1-9.
- CAMPOS, A.T. et al. **Custo Energético de Construção de uma Instalação para armazenagem de Feno**. Ciência Rural v.33, n.4, p 667 – 668. Santa Maria/RS. Jul-ago 2003.
- CARREAS, N. **Programa de capacitação em energias renováveis**. ONUDI/ONU. 2013.
- EMBRAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Índice de Custos de Produção de Suínos: ICPSuíno/Embrapa – Setembro 2015, outubro 2015**. Disponível em http://www.cnpsa.embrapa.br/cias/index.php?view=article&id=274%3Aicpsuinoembrapa-setembro2015&format=pdf&option=com_content
- Acessado em: 14/08/2015.

CEPEA – Boletim do Suíno, Nº 52 – Ano 5. ESALQ / USP. Dezembro. 2014.

CHIUCHETTA, O. **Otimização de distribuição de dejetos na suinocultura sob a ótica ambiental** – Caso de uma micro bacia no oeste catarinense. Tese de Mestrado UFSC, Centro Socioeconômico, Florianópolis, 2000, p. 114.

COLDEBELLA, A.; DE SOUZA, S. N. M.; FERRI, P.; KOLLING, E. M. **Viabilidade da geração de energia elétrica através de um motor gerador utilizando biogás da suinocultura**. Informe Gepec – Vol. 12, nº 2, jul./dez. 2008.

DI PIERO, E. P. F.; COLOMBINI; G. N. U. I. **Avaliação de projeto de investimento em ultrassonografia ocular: método do ‘payback’ descontado**. Revista Brasileira de Oftalmologia, 2004.

DERAL (DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL) – Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. **Suinocultura: Análise da Conjuntura Agropecuária**. Responsável: Edmar Wardensk Gervásio. Curitiba, 2013.

DRUMMOND, J.G.; CURTIS, S.E.; SIMON, J.; HORACE, W.N. **Effects of aerial ammonia on growth and health of young pigs**. Journal Animal Science, Champaign, V.50, no 6, 1980. p.1085–1091.

ELETRORBRAS - Disponível em:

<http://www.eletrabras.com/elb/natrilhadaenergia/meio-ambiente-e-energia/main.asp?View={45B85458-35B3-40FE-BDDD-A6516025D40B}>
Acessado em 15/04/2015.

EPE (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA). **Nota Técnica DEA 13/14: Demanda de Energia 2050**. Rio de Janeiro, ago. 2014.

ERBER, P. **O Brasil no Cenário Energético Mundial Segundo a AIE**. 2010. Disponível em:

http://www.inee.org.br/download/eficiencia/Energia_global_até%202035.pdf

FATMA (Fundação do Meio Ambiente). **IN 11: Suinocultura**.

GENOVESE, A. L.; UDAETA, M. E. M.; GALVÃO, L. C. R. **Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo**. An. 6, Enc. Energ. Meio Rural, 2006.

GIZ (Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável). **Guia técnico ambiental de biogás na agroindústria**. Belo Horizonte, 2015.

HAAS, L. B. **Desenvolvimento de um filtro para remoção de H₂S de biogás**. UNIOESTE, Cascavel, fev. 2013.

INOUE, K. R. A. **Estimativa do potencial de emissão de gases de efeito estufa em diferentes sistemas de tratamento de águas residuárias da suinocultura**. Universidade Federal de Viçosa. 2013.

ISHIZUKA, M. M. **A biotecnologia no tratamento de dejetos suínos**. Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento – Edição 3/1997.

KONZEN, E.A. **Alternativas de manejo, tratamento e utilização de dejetos animais em sistemas integrados de produção**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. (Embrapa Milho e Sorgo, Documentos, 5).

KUNZ, Airton; HIGARASHI, Martha M.; OLIVEIRA, Paulo A. **Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil** - Cadernos de Ciência e Tecnologia. Vol.22, n.3, set/dez. 2005.

LAZARETTI, R. M. J., SANTOS, J. M. G., ANDREAZZI, Márcia A. **Destinação dos resíduos da suinocultura em granjas das regiões sudoeste, norte e noroeste do estado do Paraná**. VIII Encontro Internacional de Produção Científica, out. 2013.

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

MANUAL DE BIODIGESTÃO – Disponível em:

http://www.neppa.uneb.br/textos/publicacoes/manuais/manual_biodigestor_winnock.pdf

Acessado em 17/09/2015.

MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) – **Projeções do Agronegócio: Brasil 2014/15 a 2024/25**. 6ª Edição. Brasília, 2015.

MARQUEZAN, L. H. F. **Análise de Investimentos**. Revista eletrônica de contabilidade. Vol. III nº 1 Jan-Jun, 2006.

MARTINS, F. M. , OLIVEIRA, P. A. V. **Análise econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás na suinocultura**. Jaboticabal, 2011.

MIELE, M. **Contratos, especializações, escala de produção e potencial poluidor na suinocultura de Santa Catarina**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Plano Nacional de Resíduos Sólidos 2011**.

MME (Ministério de Minas e Energia). **Balanco Energético Nacional 2014**.

MME (Ministério de Minas e Energia). **Balanco Energético Nacional 2015**.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão, a alternativa energética**. São Paulo: Ed. Nobel, 1986.

NTS 230 – Norma Técnica Sabesp. **Projeto de lagoas de estabilização e seu tratamento complementar para esgoto sanitário**. São Paulo, 2009.

ODUM E.P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1986.

OLIVEIRA, P. A. V. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004.

- OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M.M. – **Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos**. 2006. ISSN 0101-6245.
- PERDOMO, C. C.; LIMA, G. J. M. M., NONES, K. - **Produção de Suínos e Meio Ambiente** - 9º Seminário Nacional de Desenvolvimento da Suinocultura – 25 a 27 de Abril de 2001 – Gramado/RS.
- ROPPA, L. **O Brasil e o mercado internacional de carne suína** - Pork World A Revista do Suinocultor Moderno. 2002.
- SALOMON, K. R. – **Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade**. – Tese de Doutorado: Universidade Federal de Itajubá. 2007.
- SILVA, C. A. ; RIBEIRO, P. R. ; SOTO, W. C.; FRANCIS, D. G. **Contexto social da suinocultura brasileira**. Semina: Ci. Agr., Londrina, vol. 19, nº 1, pp. 94 – 98, mar. 1998.
- SIMON, M. **Suinocultura Brasileira: Uma análise do preço de exportação e do preço pago ao produtor**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, jul. 2004.
- SOUZA, R. A.; SANTOS, Elton L.; PONTES, E. C.; COSTA, J. H. Q.; SILVA, S. H. B.; TEMOTEO, M. C.; LINS, J. L. F. **As tendências de mercado da carne suína**. PUBVET, Londrina, Vol. 5, nº 25, Ed. 172, Art. 1163, 2011.
- TAMMINGA,S.; VERSTEGEN,N.W.A **Implication of nutrition of animals on environmental pollution**. In: GARNSWORTH, P.C.; HARGSIGN,W.; COLE,D.I.a eds. Recent advances in nutrition, 1992. Oxford. Bulterworth-Heinemann, 1992. P.113–130.
- TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. **Matriz energética brasileira: uma prospectiva**. Novos Estudos - CEBRAP nº 79, São Paulo, Nov. 2007.
- USDA. National Engineering Handbook. **Agricultural Waste Management Field Handbook**. United States Department of Agriculture. 1994.
- VIEIRA, D. **Policies to Encourage the Sustainable Development of Brazilian Electricity System with Distributed Generation**. University of Cambridge, ago. 2011.
- WILLIS, H. L.; SCOTT, W. G.. **Distributed Power Generation : Planning and Evaluation**. Ed. Marcel Dekker, Inc. New York. p 597. 2000.
- ZANIN, A.; BAGATINI, F. M.; PESSATTO, C. B. **Viabilidade econômico-financeira de implantação de biodigestor: uma alternativa para reduzir os impactos ambientais causados pela suinocultura**. Custos e agronegócio online, Recife, v. 6, nº. 1, p. 121-139, jan./abr. 2010.

APÊNDICE A – Apresentação dos Cenários

Com o objetivo de facilitar para o produtor analisar os pontos críticos relativos à aquisição do sistema de geração que se referem ao perfil de sua propriedade, são apresentados neste apêndice todos os cenários.

UNIDADES DE TERMINAÇÃO (UT)

UNIDADE DE TERMINAÇÃO (UT)	
500 suínos	
Volume de dejetos (m ³ /dia)	2,25
Volume do biodigestor (m ³)	67,5
Produção de biogás (m ³)	40,5
Gerador (kVA)	20
Tempo de Geração (h/dia)	3,68
Geração (kWh/ano)	21502,15
Excedente de biogás (m ³ /dia)	0
Custo Total (R\$)	98.262,92
Manutenção Anual (R\$)	2.931,27

UNIDADE DE TERMINAÇÃO (UT)	
1000 suínos	
Volume de dejetos (m ³ /dia)	4,5
Volume do biodigestor (m ³)	135
Produção de biogás (m ³)	81
Gerador (kVA)	20
Tempo de Geração (h/dia)	7,36
Geração (kWh/ano)	43004,3
Excedente de biogás (m ³ /dia)	0
Custo Total (R\$)	101.413,82
Manutenção Anual (R\$)	3.010,04

UNIDADE DE TERMINAÇÃO (UT)	
1500 suínos	
Volume de dejetos (m ³ /dia)	6,75
Volume do biodigestor (m ³)	202,5
Produção de biogás (m ³)	121,5
Gerador (kVA)	20
Tempo de Geração (h/dia)	11,05
Geração (kWh/ano)	64506,45
Excedente de biogás (m ³ /dia)	0
Custo Total (R\$)	104.564,72
Manutenção Anual (R\$)	3.088,81

UNIDADE DE TERMINAÇÃO (UT)	
2000 suínos	
Volume de dejetos (m ³ /dia)	9
Volume do biodigestor (m ³)	270
Produção de biogás (m ³)	162
Gerador (kVA)	20
Tempo de Geração (h/dia)	14,73
Geração (kWh/ano)	86008,6
Excedente de biogás (m ³ /dia)	0
Custo Total (R\$)	107.715,62
Manutenção Anual (R\$)	3.167,58

UNIDADE DE TERMINAÇÃO (UT)	
2500 suínos	
Volume de dejetos (m ³ /dia)	11,25
Volume do biodigestor (m ³)	337,5
Produção de biogás (m ³)	202,5
Gerador (kVA)	20
Tempo de Geração (h/dia)	18,41
Geração (kWh/ano)	107510,75
Excedente de biogás (m ³ /dia)	0
Custo Total (R\$)	110.866,52
Manutenção Anual (R\$)	3.246,36

UNIDADE DE TERMINAÇÃO (UT)	
3000 suínos	
Volume de dejetos (m ³ /dia)	13,5
Volume do biodigestor (m ³)	405
Produção de biogás (m ³)	243
Gerador (kVA)	20
Tempo de Geração (h/dia)	22,1
Geração (kWh/ano)	129009,25
Excedente de biogás (m ³ /dia)	0
Custo Total (R\$)	114.017,42
Manutenção Anual (R\$)	3.325,13

UNIDADE DE TERMINAÇÃO (UT)	
3500 suínos	
Volume de dejetos (m ³ /dia)	15,75
Volume do biodigestor (m ³)	472,5
Produção de biogás (m ³)	283,5
Gerador (kVA)	20
Tempo de Geração (h/dia)	24
Geração (kWh/ano)	140160,00
Excedente de biogás (m ³ /dia)	19,50
Custo Total (R\$)	117.168,32
Manutenção Anual (R\$)	3.403,90

UNIDADE DE TERMINAÇÃO (UT)	
5000 suínos	
Volume de dejetos (m ³ /dia)	22,5
Volume do biodigestor (m ³)	675
Produção de biogás (m ³)	405
Gerador (kVA)	30
Tempo de Geração (h/dia)	24
Geração (kWh/ano)	210240,00
Excedente de biogás (m ³ /dia)	21,00
Custo Total (R\$)	139.121,02
Manutenção Anual (R\$)	4.502,72

UNIDADE DE TERMINAÇÃO (UT)	
4000 suínos	
Volume de dejetos (m ³ /dia)	18
Volume do biodigestor (m ³)	540
Produção de biogás (m ³)	324
Gerador (kVA)	25
Tempo de Geração (h/dia)	24
Geração (kWh/ano)	175200,00
Excedente de biogás (m ³ /dia)	12,00
Custo Total (R\$)	126.569,22
Manutenção Anual (R\$)	3.913,92

UNIDADE DE TERMINAÇÃO (UT)	
4500 suínos	
Volume de dejetos (m ³ /dia)	20,25
Volume do biodigestor (m ³)	607,5
Produção de biogás (m ³)	364,5
Gerador (kVA)	25
Tempo de Geração (h/dia)	24
Geração (kWh/ano)	175200,00
Excedente de biogás (m ³ /dia)	52,50
Custo Total (R\$)	129.720,12
Manutenção Anual (R\$)	3.992,70

UNIDADES DE PRODUÇÃO LEITÕES (UPL)

UNIDADE DE PRODUÇÃO DE LEITÕES (UPL)	
500 suínos	
Volume de dejetos (m ³ /dia)	11,4
Volume do biodigestor (m ³)	342
Produção de biogás (m ³)	205,2
Gerador (kVA)	20
Tempo de Geração (h/dia)	18,65
Geração (kWh/ano)	108941,55
Excedente de biogás (m ³ /dia)	0
Custo Total (R\$)	111.076,58
Manutenção Anual (R\$)	3.251,61

UNIDADE DE PRODUÇÃO DE LEITÕES (UPL)	
1000 suínos	
Volume de dejetos (m ³ /dia)	22,8
Volume do biodigestor (m ³)	684
Produção de biogás (m ³)	410,4
Gerador (kVA)	30
Tempo de Geração (h/dia)	24
Geração (kWh/ano)	210240,00
Excedente de biogás (m ³ /dia)	26,40
Custo Total (R\$)	139.541,14
Manutenção Anual (R\$)	4.513,22

UNIDADE DE PRODUÇÃO DE LEITÕES (UPL)	
1500 suínos	
Volume de dejetos (m ³ /dia)	34,2
Volume do biodigestor (m ³)	1.026
Produção de biogás (m ³)	615,6
Gerador (kVA)	56
Tempo de Geração (h/dia)	24
Geração (kWh/ano)	394200,00
Excedente de biogás (m ³ /dia)	39,60
Custo Total (R\$)	189.547,94
Manutenção Anual (R\$)	7.154,84

UNIDADE DE PRODUÇÃO DE LEITÕES (UPL)	
2000 suínos	
Volume de dejetos (m ³ /dia)	45,6
Volume do biodigestor (m ³)	1.368
Produção de biogás (m ³)	820,8
Gerador (kVA)	70
Tempo de Geração (h/dia)	24
Geração (kWh/ano)	490560,00
Excedente de biogás (m ³ /dia)	124,80
Custo Total (R\$)	223.783,62
Manutenção Anual (R\$)	8.761,45

UNIDADE DE PRODUÇÃO DE LEITÕES (UPL)	
2500 suínos	
Volume de dejetos (m ³ /dia)	57
Volume do biodigestor (m ³)	1.710
Produção de biogás (m ³)	1.026
Gerador (kVA)	90
Tempo de Geração (h/dia)	24
Geração (kWh/ano)	630720,00
Excedente de biogás (m ³ /dia)	162,00
Custo Total (R\$)	265.519,30
Manutenção Anual (R\$)	10.885,56

UNIDADE DE PRODUÇÃO DE LEITÕES (UPL)	
3000 suínos	
Volume de dejetos (m ³ /dia)	68,4
Volume do biodigestor (m ³)	2.052
Produção de biogás (m ³)	1.231,20
Gerador (kVA)	112
Tempo de Geração (h/dia)	24
Geração (kWh/ano)	788400,00
Excedente de biogás (m ³ /dia)	55,20
Custo Total (R\$)	309.369,42
Manutenção Anual (R\$)	13.182,18

UNIDADE DE PRODUÇÃO DE LEITÕES (UPL)	
3500 suínos	
Volume de dejetos (m ³ /dia)	79,8
Volume do biodigestor (m ³)	2.394
Produção de biogás (m ³)	1.436,40
Gerador (kVA)	122
Tempo de Geração (h/dia)	24
Geração (kWh/ano)	858480,00
Excedente de biogás (m ³ /dia)	116,40
Custo Total (R\$)	338.605,10
Manutenção Anual (R\$)	14.443,79

UNIDADE DE PRODUÇÃO DE LEITÕES (UPL)	
4000 suínos	
Volume de dejetos (m ³ /dia)	91,2
Volume do biodigestor (m ³)	2.736
Produção de biogás (m ³)	1.641,60
Gerador (kVA)	1x122 + 1x20
Tempo de Geração (h/dia)	24
Geração (kWh/ano)	998640,00
Excedente de biogás (m ³ /dia)	61,48
Custo Total (R\$)	404.581,94
Manutenção Anual (R\$)	16.567,91

UNIDADE DE PRODUÇÃO DE LEITÕES (UPL)	
4500 suínos	
Volume de dejetos (m ³ /dia)	102,6
Volume do biodigestor (m ³)	3.078
Produção de biogás (m ³)	1.846,80
Gerador (kVA)	2x90
Tempo de Geração (h/dia)	24
Geração (kWh/ano)	1261440,00
Excedente de biogás (m ³ /dia)	118,80
Custo Total (R\$)	469.974,30
Manutenção Anual (R\$)	20.244,52

UNIDADE DE PRODUÇÃO DE LEITÕES (UPL)	
5000 suínos	
Volume de dejetos (m ³ /dia)	114
Volume do biodigestor (m ³)	3.420
Produção de biogás (m ³)	2.052
Gerador (kVA)	1x112 + 1x90
Tempo de Geração (h/dia)	24
Geração (kWh/ano)	1419120,00
Excedente de biogás (m ³ /dia)	11,92
Custo Total (R\$)	513.824,42
Manutenção Anual (R\$)	22.541,13

APÊNDICE B – Planilha Excel

Utilizando como base as relações e equações verificadas neste trabalho, foi criada uma planilha com o auxílio do software Microsoft Office Excel, a qual tem como objetivo calcular de forma rápida e automática os resultados que podem ser usados para avaliar a viabilidade de implantação de um sistema de geração de energia elétrica a partir dos resíduos suínos.

As variáveis a serem informadas pelo usuário são o número de suínos alocados na Unidade de Terminação, assim como o número de animais em Unidade de Produção de Leite. A partir dessas informações, os cálculos são realizados conforme as equações apresentadas ao longo deste trabalho, retornando os resultados para volume total de dejetos produzidos diariamente, volume do biodigestor, produção diária de biogás, potência do gerador a ser instalado no sistema, capacidade de tempo de geração diária em horas, capacidade de geração anual de energia elétrica em kWh, excedente de biogás em m³ e, por fim, custo total de investimento do sistema (CAPEX) e custo anual de manutenção (OPEX).

O usuário deve também inserir seu consumo anual de energia elétrica em kWh e o valor em R\$ da tarifa aplicada, dados que podem ser encontrados nas faturas da concessionária. Além disso, é necessário informar qual a taxa de juros aplicada ao ano. Com esses dados, a planilha calcula qual o montante do retorno anual que seria obtido com a operação do sistema e, dessa forma, mostra em gráfico qual o tempo de retorno esperado para o investimento.

O objetivo dessa ferramenta é compilar todos os cálculos referentes à implantação do sistema de geração de energia elétrica e consequentemente mostrar de forma simples e rápida o prazo de recuperação do capital a ser investido. A figura apresentada a seguir mostra a interface da planilha.

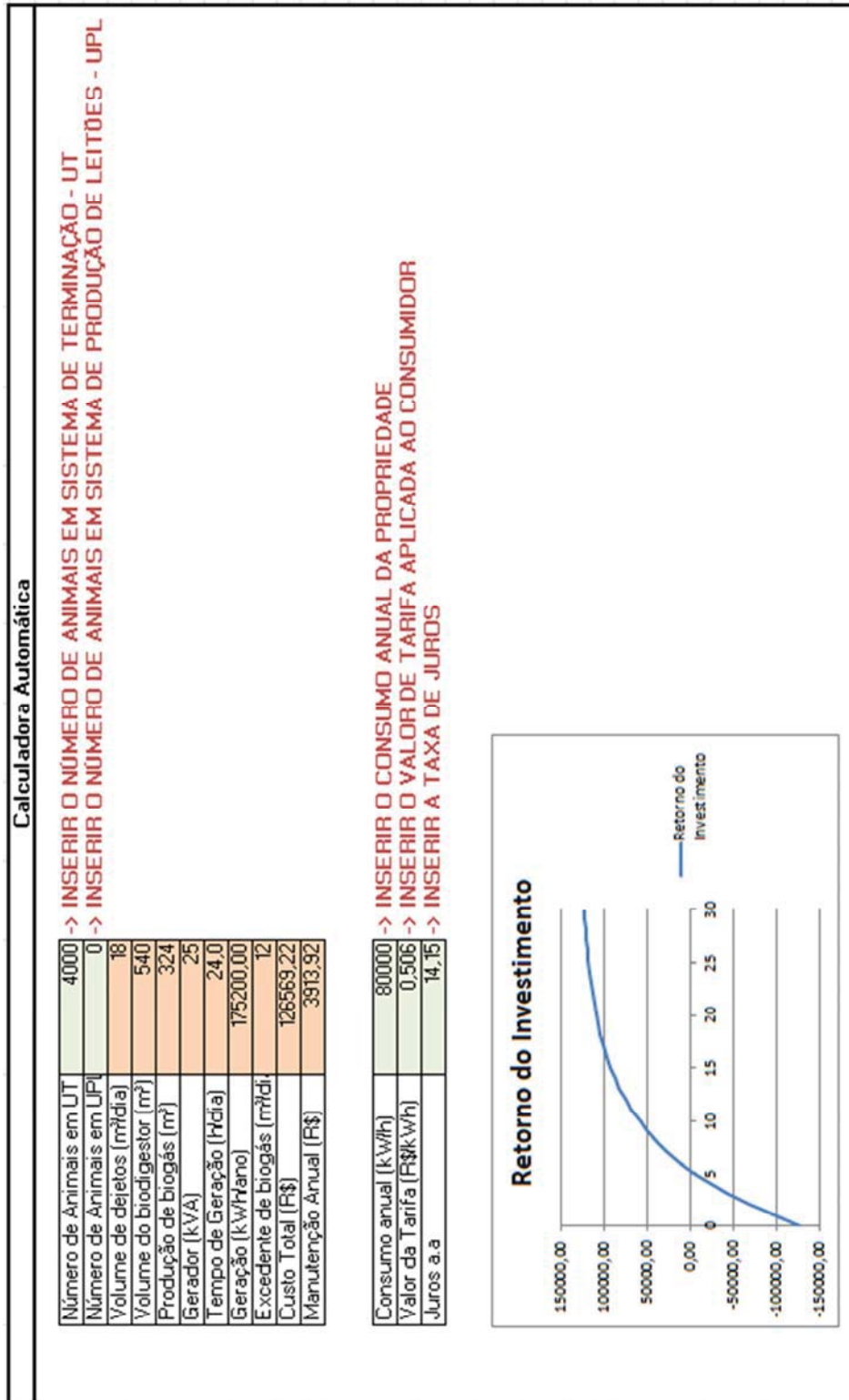


Figura – Planilha Automática Excel