

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO**

**JOÃO CARLOS UMBELINO LIRA**  
**Orientador: Prof. Dr. Enes Gonçalves Marra**  
**Co-orientador: Prof. Dr. Elder Geraldo Domingues**

**ANÁLISE ECONÔMICA E BALANÇO ENERGÉTICO DO BIOGÁS EM GRANJAS DE**  
**SUÍNOS**

**Goiânia**  
**2009**

**JOÃO CARLOS UMBELINO LIRA**

**ANÁLISE ECONÔMICA E BALANÇO ENERGÉTICO DO BIOGÁS EM GRANJAS DE  
SUÍNOS**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO PROGRAMA  
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS PARA  
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM  
ENGENHARIA ELÉTRICA.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:  
ENGENHARIA ELÉTRICA

**Orientador: Prof. Dr. Enes Gonçalves Marra**  
**Co-orientador: Prof. Dr. Elder Geraldo Domingues**

Goiânia  
2009

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(GPT/BC/UFG)

**L768a Lira, João Carlos Umbelino.**  
**Análise econômica e balanço energético do biogás em granjas de suínos [manuscrito] / João Carlos Umbelino Lira. – 2009.**  
**85f. : il., color., figs., tabs.**

**Orientador: Prof. Dr. Enes Gonçalves Marra; Co-Orientador: Prof. Dr. Elder Geraldo Domingues.**

**Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Elétrica e Computação, 2009.**

**Bibliografia: f.79-85.**  
**Inclui lista de figuras, tabelas, abreviaturas e de símbolos.**

**1. Biogás – Análise econômica 2. Biogás – Balanço energético 3. Resíduos de suínos – Aproveitamento – Biogás. 4. Geração de energia I. Marra, Enes Gonçalves. II. Domingues, Elder Geraldo. III. Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Elétrica e de Computação IV. Título.**

CDU:

662.767.2



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**  
Escola de Engenharia Elétrica e de Computação  
Coordenação de Pós-Graduação e Pesquisa  
em Engenharia Elétrica e de Computação




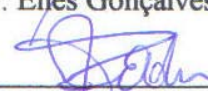
## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

# **“Análise Econômica e Balanço Energético do Biogás em Granjas de Suínos”**

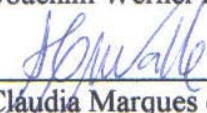
**JOÃO CARLOS UMBELINO LIRA**

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Enes Gonçalves Marra, Orientador - EEEEC/UFG

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Elder Geraldo Domingues, Co-orientador – IFGoiás

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Joachim Werner Zang – IFGoiás

  
\_\_\_\_\_  
Profª. Dra. Ana Cláudia Marques do Valle – EEEEC/UFG

Goiânia, 10 de Fevereiro de 2009

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Enes Gonçalves Marra, pelo seu apoio, conhecimento e experiência na orientação deste trabalho.

Ao Proprietário da Granja Monte Alegre, Sr. José Antônio Nogueira Jr., pela receptividade em permitir o acesso às instalações e informações de seu empreendimento, as quais foram de grande importância para a realização deste trabalho.

Ao Professores Lourenço Matias, Elder Geraldo Domingos, Ana Cláudia Marques do Vale e Joachim Werner Zang pela valiosa contribuição no enriquecimento deste trabalho.

À ACGERT pela presteza no fornecimento de informações ligadas ao tema.

À Universidade Federal de Goiás pelo apoio técnico.

## **RESUMO**

Este trabalho apresenta a análise de um caso baseado no aproveitamento do biogás gerado a partir de rejeitos de suínos. A análise mostra que a energia do biogás produzido nos processos da granja pode ser parcialmente aproveitada através de mecanismos de desenvolvimento limpos (MDL) com a finalidade de aumentar a eficiência energética do sistema. O processo utilizado apresenta benefícios ambientais e econômicos, já que as emissões de carbono são reduzidas e seus créditos podem ser negociados. Uma análise econômica de alternativas de geração energética do biogás é também apresentada, considerando-se aspectos técnicos, ambientais e financeiros. O estudo foi realizado em uma granja no sudoeste do estado de Goiás, e analisa a viabilidade de cada uma das alternativas apresentadas para o aproveitamento energético do gás, que são: queima total do biogás; geração de energia elétrica; aquecimento; ou a combinação de aquecimento e geração de energia elétrica.

Palavras-chave - Análise econômica, aquecimento, balanço energético, biogás, energia elétrica, MDL.

## **ABSTRACT**

This work presents a case analysis of energetic harnessing in a piggery, based on the use of biogas generated from pig sewage. The analysis shows that the energy from the biogas produced in the farm processes can be partially used through Clean Development Mechanisms (CDM) in order to improve the system efficiency. The utilized process presents environmental and economical benefits as carbon emissions are reduced and their credits can be traded. Moreover, an economic analysis of alternatives for biogas use was carried out taking into account technical, environmental and financial aspects. The case study was realized on a piggery farm in the south-west of the Goiás State where the economical viability of each of the presented alternatives was analyzed considering the following: total burning of biogas; generation of electrical energy; heating; or the combined heat and power generation (CHP).

Keywords: Economic analysis, heating, energy balance, biogas, electrical energy, CDM.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1	Emissões de gases de efeito estufa.	13
FIGURA 2.2	Lagoa de decantação com formação de gás metano (bolhas) lançado diretamente na atmosfera.	16
FIGURA 2.3	Exemplo de um biosistema integrado.	18
FIGURA 2.4	Processo de biodigestão anaeróbia.	19
FIGURA 2.5	Fases da ação das bactérias anaeróbicas no processo de biodigestão.	20
FIGURA 2.6	Biodigestor modelo chinês em corte.	25
FIGURA 2.7	Biodigestor modelo indiano em perspectiva.	25
FIGURA 2.8	Modelo de Biodigestor de gasômetro de PVC adotado pela empresa Agcert em planta baixa (A) e construído (B).	26
FIGURA 3.1	Escolha da área para início do projeto.	40
FIGURA 3.2	Terraplanagem.	40
FIGURA 3.3	Escavação.	41
FIGURA 3.4	Abertura de valas para tubulações.	41
FIGURA 3.5	Instalação de tubulações.	42
FIGURA 3.6	Caixa de carga e reservatórios.	42
FIGURA 3.7	Instalação manta de PVC interna.	43
FIGURA 3.8	Acabamento das tubulações.	43
FIGURA 3.9	Início de enchimento do biodigestor.	44
FIGURA 3.10	Instalação de gasômetro de PVC (câmara de gás).	44
FIGURA 3.11	Início do enchimento do gasômetro.	45
FIGURA 3.12	Captação do biogás para queima.	45
FIGURA 3.13	Armazenamento do biogás.	46
FIGURA 3.14	Queima do biogás pelo flare.	47
FIGURA 3.15	Sistema de geração elétrica e motor de automóvel a gasolina adaptado para biogás com detalhes construtivos.	48



FIGURA 3.16	Detalhe de unidade de purificação e compressão de biogás. A) coletor de umidade; B) Filtro de H <sub>2</sub> S; C) Espuma; D) Totalizador de gás; E) Compressor.	50
FIGURA 3.17	Principais opções para utilização/conversão do biogás.	52
FIGURA 3.18	Interior da turbina Capstone.	53
FIGURA 3.19	Microturbina a biogás em perspectiva.	53

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1	Limites de tolerância para alguns agentes químicos.	9
TABELA 2.2	Classificação ambiental de infecções transmitidas por dejetos.	10
TABELA 2.3	Classificação dos métodos de tratamento de dejetos suínos de acordo com o tipo de tratamento.	17
TABELA 2.4	Composição do biogás.	21
TABELA 2.5	Comparação dos modelos de biodigestores Chinês e Indiano.	23
TABELA 2.6	Especificações gerais de Biodigestor de gasômetro de PVC modelo Sansuy.	24
TABELA 3.1	Relação de veículos e consumo.	31
TABELA 3.2	Relação de consumo de ração por tipo.	31
TABELA 3.3	Componentes de entrada.	33
TABELA 3.4	Componentes de saída.	33
TABELA 3.5	Dados de entrada.	35
TABELA 3.6	Dados de saída.	36
TABELA 3.7	Comparação dos custos mínimo e máximo do biogás com outras fontes alternativas de energia.	37
TABELA 3.8	Correlação das características térmicas do biogás e metano com outros combustíveis convencionais.	54
TABELA 4.1	Resumo de custo e investimentos para utilização do biogás para a situação atual.	60
TABELA 4.2	Potencial de créditos de carbono.	60
TABELA 4.3	Fluxo de caixa para determinação do <i>Payback</i> descontado na utilização de biogás para situação atual.	62
TABELA 4.4	Resumo de custo e investimentos para utilização do biogás para aquecimento.	64
TABELA 4.5	Potencial de créditos de carbono.	64
TABELA 4.6	Fluxo de caixa para determinação do <i>Payback</i>	

	descontado na utilização de biogás para aquecimento.	65
TABELA 4.7	Resumo de custo e investimentos para geração de energia elétrica e aquecimento.	67
TABELA 4.8	Potencial de créditos de carbono.	68
TABELA 4.9	Fluxo de caixa para determinação do <i>Payback</i> descontado para geração de energia elétrica e aquecimento.	68
TABELA 4.10	Resumo de custo e investimentos em geração de energia elétrica.	70
TABELA 4.11	Potencial de créditos de carbono.	70
TABELA 4.12	Fluxo de caixa para determinação do <i>Payback</i> descontado para geração de energia elétrica.	71
TABELA 4.13	Resumo do período de retorno de investimento.	73
TABELA 4.14	Novos cenários das alternativas energéticas.	74
TABELA 4.15	Resumo de valores das alternativas energéticas.	74

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABIEPCS – Associação da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína.

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

LP – Licença Prévia.

LI – Licença de Instalação.

LO – Licença de Operação.

IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas.

GWP – Potencial de Aquecimento Global.

DBO<sub>5</sub> – Demanda Bioquímica de Oxigênio.

NH<sub>3</sub> – Amônia.

CH<sub>4</sub> – Metano.

H<sub>2</sub>S – Sulfeto de Hidrogênio.

N<sub>2</sub>O – Óxido Nitroso.

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono.

SH<sub>2</sub> – Gás Sulfídrico

H<sub>2</sub> – Hidrogênio

C/N – Relação Carbono/Nitrogênio.

pH – Potencial de Hidrogênio.

PVC – Cloreto de Polivinila.

VE – Valor Energético.

Fe-EDTA – Solução Química de Ferro e Ácido Etileno Diamino Tetra Acético.

VPL – Valor Presente Líquido.

TIR – Taxa Interna de Retorno.

ha – Hectare

## LISTA DE SÍMBOLOS

c – Consumo.

p – Peso total.

eq – Equivalente Energético.

VE – Valor Energético.

$\eta$  – Coeficiente de Eficiência Energética.

$\Sigma$  - Somatório.

$F_n$  – Valor de Pagamentos de um Fluxo de Caixa.

i – Taxa de Desconto

n – Número do Período.

P – Valor Presente.

VPL – Valor Presente Líquido.

# SUMÁRIO

Capítulo 1 – Introdução	1
1.1 Objetivo Geral	2
1.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Metodologia	3
1.4 Relevância	4
1.5 Limitações	5
1.6 Organização do Trabalho	5
 Capítulo 2 – Aspectos Sanitários, Ambientais e Tecnológicos da Suinocultura	 7
2.1 Aspectos Sanitários	7
2.2 Aspectos ambientais	12
2.2.1 O Efeito Estufa	12
2.2.2 Crédito de Carbono e MDL	14
2.3 Aspectos Tecnológicos	15
2.3.1 Lagoa de Decantação	15
2.3.2 Biodigestores e Biogás	18
2.4 Considerações Finais	27
 Capítulo 3 – Balanço Energético e Produção de Energia	 28
3.1 Balanço Energético	28
3.1.1 Metodologia	28
3.1.2 Componentes Energéticos Envolvidos no Processo – Dados de Entrada	30
3.1.2.1 Consumo de Energia Elétrica	30
3.1.2.2 Consumo de Óleo Diesel	30
3.1.2.3 Consumo de Ração	31
3.1.2.4 Consumo de Água	31

3.1.3 Componentes Energéticos Envolvidos no Processo – Dados de Saída	32
3.1.3.1 Produção de Leitões	32
3.1.3.2 Produção de Biogás	32
3.1.3.3 Produção de Biofertilizante	32
3.1.4 Determinação dos Equivalentes Energéticos Envolvidos no Processo	32
3.1.4.1 Componentes de entrada do processo	33
3.1.4.2 Componentes de Saída do Processo	33
3.1.5 Determinação do Valor Energético dos Componentes	33
3.1.5.1 Dados de Entrada	33
3.1.5.2 Dados de Saída	34
3.1.6 Coeficiente de Eficiência Energética	35
3.1.7 Resultados	35
3.1.8 Produção de Energia Elétrica Utilizando Biogás	36
3.1.9 Custos de Utilização	37
3.2 Levantamento da Capacidade de Geração de Energia Elétrica da Granja	39
3.3 Produção de Energia Elétrica	47
3.4 Purificação do Gás Metano	49
3.5 Uso Direto do Biogás	51
3.5.1 Turbinas e Motores de Combustão Interna	52
3.5.2 Produção de Biofertilizante	55
3.6 Potencial Energético	56
3.7 Considerações Finais	57
 Capítulo 4 – Análise Econômica	 58
4.1 Manter a Situação Atual (Queima do Biogás pelo Flare)	59
4.1.1 Determinação do Período de Payback Descontado (ou Tempo de Retorno de Investimento Descontado)	61
4.1.2 Determinação do Valor Presente Líquido (VPL)	62
4.1.3 Determinação da Taxa Interna de Retorno (TIR)	63
4.2 Utilização do Biogás para Aquecimento	63
4.2.1 Determinação do Período de Payback Descontado (ou Tempo de Retorno de Investimento Descontado)	65

4.2.2 Determinação do Valor Presente Líquido (VPL)	66
4.2.3 Determinação da Taxa Interna de Retorno (TIR)	66
4.3 Utilização do Biogás para Aquecimento e Geração de Energia Elétrica	66
4.3.1 Determinação do período de payback descontado (ou Tempo de retorno de investimento descontado)	68
4.3.2 Determinação do Valor Presente Líquido (VPL)	69
4.3.3 Determinação da Taxa Interna de Retorno (TIR)	69
4.4 Utilização do Biogás Geração de Energia Elétrica	69
4.4.1 Determinação do período de payback descontado (ou Tempo de retorno de investimento descontado)	71
4.4.2 Determinação do Valor Presente Líquido (VPL)	72
4.4.3 Determinação da Taxa Interna de Retorno (TIR)	72
4.5 Análise de Risco	72
4.6 Considerações finais	74
 Capítulo 5 – Conclusões	 76
 Referências Bibliográficas	 79



# Capítulo 1

## Introdução

A energia tem sido através da história a base para o desenvolvimento humano. Atualmente é cada vez maior a necessidade energética para a produção de alimentos, bens de consumo, serviços e lazer, promovendo o desenvolvimento econômico, social e cultural.

É dentro deste cenário que as fontes renováveis de energia vêm se tornando uma alternativa viável ante a situação mundial de instabilidade econômica e técnica no setor energético (preço do petróleo, racionamento de energia, danos ao meio ambiente, etc).

O Brasil é um país que apresenta tradição no uso destas fontes renováveis, com destaque para a energia hidrelétrica, responsável pela maior parte de geração de eletricidade e o etanol, proveniente da cana de açúcar e utilizado como combustível. Existe ainda um enorme potencial para o aproveitamento de outras fontes, tais como a energia solar, eólica e biomassa.

Das fontes de biomassa existentes, uma que vem ganhando importância devido a questões ambiental e sanitária é o aproveitamento energético do biogás proveniente de suinocultura. Sabe-se que a suinocultura é um dos segmentos do agronegócio que mais cresce neste país. Segundo dados da ABIPECS – Associação da Indústria Produtora e Exportadora de

Carne Suína, o Brasil possui cerca de 40.000.000 de suínos, o que o coloca em destaque no mercado mundial. Entretanto, existe um desafio a ser vencido pelas granjas criadoras, que é a redução dos impactos ambientais e sanitários gerados pela produção dos dejetos. Sabe-se que os dejetos de suínos são causadores de doenças prejudiciais ao ser humano, além de produzirem na sua formação gases como o metano que são lançados na atmosfera.

Uma das alternativas utilizadas a fim de resolver estes problemas é o chamado Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que trata os resíduos (dejetos) de forma ambientalmente correta, aproveitando o gás gerado de forma a reduzir efeitos globais de aquecimento.

## **1.1 Objetivo Geral**

Diante deste cenário, este trabalho tem como objetivo geral mostrar as potencialidades energéticas do uso do biogás proveniente de dejetos de suinocultura, tanto nos aspectos técnicos, ambientais e sanitários quanto no aspecto econômico.

De modo a se obter as informações desejadas, foi feita uma pesquisa abrangente na literatura existente sobre o tema e foram levantadas informações de campo através de um modelo já implantado, a fim de identificar quais as reais possibilidades de seu aproveitamento energético.

## **1.2 Objetivos Específicos**

Em decorrência do objetivo geral, podem-se citar como objetivos específicos:

- Mostrar os aspectos técnicos, econômicos, ambientais e energéticos que devem ser considerados para implantar um sistema sustentável de geração de energia a partir do biogás proveniente de dejetos de suinocultura;

- Identificar aspectos relativos a custos de instalações direta e indiretamente ligadas à produção do biogás, tais como sistemas de purificação e de compressão, analisando a viabilidade econômica do empreendimento;
- Comparar possibilidades de aplicações energéticas do biogás em granjas de suínos;
- Analisar a eficiência energética do sistema de produção através da aplicação do balanço energético;
- Mostrar a potencialidade energética na região estudada;

Este estudo se propõe a responder a seguinte questão:

O aproveitamento do biogás proveniente de dejetos de suinocultura é viável tecnicamente e, economicamente?

## 1.3 Metodologia

O estudo de caso foi realizado na Granja Monte Alegre, localizada na Fazenda Monte Alegre, no município de Rio Verde, em Goiás.

A granja foi escolhida para a realização deste estudo por já possuir uma produção constante de biogás, através de dois biodigestores construídos para o tratamento dos dejetos. O biogás produzido ainda não é utilizado como alternativa energética, sendo somente queimado via *flare*. Sua produção diária é de cerca de 460 m<sup>3</sup>. Existe também interesse por parte da Granja em converter o gás gerado em energia elétrica para abastecimento próprio.

Inicialmente foi feito um estudo da eficiência energética do biogás proveniente de suinocultura, a fim de identificar sua potencialidade de geração de energia. Foi utilizada a metodologia do balanço energético.

Para o estudo de viabilidade do potencial energético da Granja Monte Alegre, foi utilizado o programa *Biogás: Geração e Uso Energético – Efluentes e Resíduo Rural, Versão 1.0. da CETESB*, cujo programa está

disponível no site <<http://www.cetesb.sp.gov.br/biogas/default.asp>>, que tem como objetivo analisar quais são as alternativas para o uso energético do biogás proveniente de dejetos rurais, no caso, da suinocultura, avaliando também as estimativas de investimento e de emissões de metano, e a possibilidade comercial de seus créditos.

Com base nestas informações, e aplicando conceitos de engenharia econômica, foi feita uma análise de viabilidade econômica para determinar qual seria o tempo de retorno do investimento, o valor presente líquido e a taxa interna de retorno para cada uma das possíveis alternativas energéticas do uso do biogás proveniente de granjas de suínos.

## **1.4 Relevância**

Ao serem produzidos, os dejetos de suínos apresentam significativo teor energético que pode ser reaproveitado pelo sistema de produção. Além de melhorar a eficiência do processo, seu tratamento adequado possibilita redução nos impactos sanitários pelos efluentes prejudiciais pelos efluentes ao ser humano, além de diminuir consideravelmente os impactos ambientais provocados pelo lançamento dos gases provenientes destes dejetos na atmosfera, gerando assim condições sustentáveis de desenvolvimento.

## 1.5 Limitações

O presente trabalho não aborda de forma detalhada questões de ordem sanitária, apenas expõe o assunto de maneira a dar suporte para outros temas em estudo.

Na análise econômica, este trabalho não incluiu considerações tributárias que variam no país, diferindo entre estados e municípios. Não foram consideradas, ainda, limitações legais de inserção de energia elétrica na rede.

Apesar de considerar a possibilidade de comercialização de Créditos de Carbono, este trabalho não se propõe a orientar a elaboração de projetos com esta finalidade, visto que esse é um mercado em formação que ainda sofre constantes alterações.

Este trabalho não aborda aspectos técnicos e contratuais da geração distribuída, nem o impacto da geração distribuída de granjas de suínos no sistema de distribuição da região.

## 1.6 Organização do Trabalho

Para melhor compreensão do texto, este trabalho foi dividido nos seguintes capítulos:

Este capítulo apresentou uma visão geral do trabalho e motivação para sua realização, bem como sua proposta e contribuições, descreve os objetivos gerais e específicos sobre o tema estudado, expõe a metodologia utilizada e o estudo de caso, mostra a relevância para sua realização e apresenta as limitações encontradas em seu desenvolvimento.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica dos temas de suinocultura, tais como biogás, biodigestores, Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e Créditos de Carbono, mostra a questão sanitária referente a dejetos de suínos como vetor de transmissão de doenças, como agente poluidor de lençóis freáticos e cursos de água; descreve a regulação ambiental

para o estudo, descreve a questão ambiental referente à emissão de gases de efeito estufa ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ) proveniente do tratamento de dejetos de suínos e mostra as tecnologias utilizadas atualmente.

O Capítulo 3 determina a eficiência energética do caso estudo, com base no balanço energético; apresenta conceitos referentes à produção de energia elétrica e à necessidade de purificação do gás metano, abrangendo também a questão dos custos envolvidos; o uso direto do gás para geração energética e seus equipamentos; a produção de biofertilizante; além de levantar a capacidade de geração de energia da granja em estudo.

O Capítulo 4 faz uma análise de viabilidade econômica do potencial energético da granja realizando estudos de investimentos, e comércio de créditos de carbono. Determina o período de retorno do investimento, o valor presente líquido, a taxa interna de retorno das seguintes alternativas de aproveitamento energético: a utilização exclusiva do gás para aquecimento; utilização do gás para aquecimento e geração de energia elétrica para consumo próprio; utilização exclusiva do gás para geração de energia elétrica para consumo próprio; e queima do volume total do gás metano produzido.

O Capítulo 5 destaca os principais aspectos do trabalho, as conclusões referentes ao tema e as principais propostas para trabalhos futuros neste tema.

# Capítulo 2

## Aspectos Sanitários, Ambientais e Tecnológicos da Suinocultura

### 2.1 Aspectos Sanitários

A poluição ambiental por dejetos é um problema que vem se agravando na suinocultura moderna. Diagnósticos recentes têm demonstrado um alto nível de contaminação de rios e lençóis de água superficiais que abastecem tanto o meio rural quanto o urbano, sendo que a capacidade poluente dos dejetos suínos em termos comparativos é muito superior a de outras espécies.

O equivalente populacional de um suíno equivale a cerca de 3,5 pessoas, sendo que o grau de poluição do dejetos suíno é cerca de 200 vezes maior que o doméstico (TECPAR, 2002). CASAGRANDE (2003), aumenta este potencial poluidor para cerca de 4,2 vezes maior do que o esgoto doméstico. BEZERRA (2002) afirma que um suíno possui um potencial poluidor quatro vezes maior que um humano, e conclui exemplificando que um suinocultor médio com 3.000 animais permanentemente instalados em sua granja, é responsável pela poluição de esgotos equivalente a uma cidade com 12 mil habitantes.

Outro aspecto importante é o correto manejo da água em granja de suínos, adequado à disponibilidade deste recurso, seja por reaproveitamento da água servida utilizada na limpeza da granja, por eliminação de dejetos via raspagem e manutenção periódica no sistema hidráulico (KUNZ, 2003).

Segundo FÁVERO (2003), a segurança sanitária é um item que também deve ser levado em conta no tratamento dos dejetos. A fim de diminuir os riscos envolvidos neste procedimento e a disseminação de organismos potencialmente prejudiciais a humanos, animais e ao ambiente, além de todos os cuidados sanitários aplicados aos rebanhos, mostra-se prudente assegurar um tempo mínimo de retenção de 30 dias para a decomposição dos dejetos em sistemas anaeróbios ativos, antes de utilizá-los como fertilizante.

Já RANZI (2002), afirma que o lançamento direto de dejetos frescos em cursos de água permite uma diminuição do oxigênio dissolvido na água e aumenta a mortandade de peixes, além de impossibilitar o uso da água para diversos fins, elevando também o número de moscas devido à falta de tratamento destes dejetos. As moscas são responsáveis por transmitirem os agentes veiculadores da diarreia, da cólera e da meningite, sendo que um grande número de microorganismos, como bactérias, vírus, protozoários e ovos de helmintos, presentes no trato digestivo dos animais. São geralmente encontrados nos efluentes da suinocultura, onde muitos deles são potenciais causadores de doenças.

AGNOESE (2006a) mostra que os dejetos não tratados, lançados no solo e nos mananciais de água, podem causar desequilíbrios ambientais e trazer problemas de saúde às pessoas e animais. Complementa que 20% das enfermidades que atingem o homem, estão direta ou indiretamente ligadas às contaminações da água. A proliferação de insetos indesejáveis e surgimento de bactérias resistentes aos antibióticos é outro aspecto que também vêm sendo associadas à inadequação dos sistemas convencionais de tratamento de dejetos, ocasionando maior incidência de doenças respiratória, gastrintestinal, visuais, irritações da membrana da mucosa, dor de cabeça, dor de garganta, dentre outras.



Segundo OLIVEIRA et al (2003) e TOBIAS (2002), a poluição por dejetos é proveniente do lançamento dos mesmos sem o devido tratamento nos cursos de água, o que acarreta desequilíbrios ecológicos, tais como a redução de teor de oxigênio dissolvido na água, disseminação de patógenos como cólera, amebíase, ascaridíase, febre tifóide, hepatite infecciosa e esquistossomose, além de insetos e moscas, contaminação de águas potáveis com amônia, nitratos, coliformes fecais e outros elementos tóxicos, além de emitir odores desagradáveis devido à evaporação de gases contaminantes, tais como amônia ( $\text{NH}_3$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). A tabela 2.1 apresenta os limites de tolerância para alguns agentes químicos.

TABELA 2.1  
Limites de tolerância para alguns agentes químicos.

Agente Químico	Até 48 horas/semana		Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização	Valor máximo (ppm)
	(ppm)	( $\text{mg.m}^{-3}$ )		
$\text{NH}_3$	20	14	Médio	30
$\text{H}_2\text{S}$	8	12	máximo	16
CO	39	43	máximo	58,5
$\text{CO}_2$	3.900	7.020	mínimo	4.290
$\text{CH}_4$	Asfixiante simples		-	-

Fonte: SAMPAIO, 2004.

SAMPAIO (2004) afirma que, a exposição a estes gases pode desencadear o aparecimento de doenças alérgicas e respiratórias com efeitos tóxicos diretos, podendo até ser letal. Doenças respiratórias em suínos e nos trabalhadores são causadas principalmente pela amônia, sulfeto de hidrogênio, dióxido de carbono e monóxido de carbono. A amônia e o sulfeto de hidrogênio causam perda de apetite (anorexia) e conseqüentemente redução na produtividade animal. A tabela 2.2 apresenta as infecções que podem ser transmitidas por dejetos de suínos.

TABELA 2.2

Classificação ambiental de infecções transmitidas por dejetos.

Categoria	Infecção	Mecanismos de transmissão	Medidas de Controle
I. Fecal/Oral (não bacterial) Não latente Dose infecciosa pequena	Poliomielite (V)	Contato pessoal	Abastecimento de água
	Hepatite A (V)	Contaminação doméstica	Melhoria habitacional
	Diarréia Rotavirus (V)		Provisão sanitária
	Giardiase (P)		Educação sanitária
	Balantidiase (P)		
	Enterobiase (H)		
	Hymenolepiase (H)		
II. Fecal – Oral (bacterial) Não latente Doses altas e médias de infecção persistente moderadamente e capacidade de multiplicação	Diarréias	Contato pessoal	Abastecimento de água
	Disenterias	Contaminação doméstica de água e colheitas	Melhorias habitacionais
	Enterite Campylobacteria (B)		Provisão sanitária
	Cólera (B)		Tratamento de excreta antes da reutilização ou descarga
	Diarréia E.Coli (B)		Educação sanitária
	Salmonelose (B)		
	Shigelose (B)		
	Yerseniose (B)		
	Febres entéricas: Tifóide (B)		
	Paratifóide (B)		
III. Helmintos transmitidos pelo solo latente e persistente sem hospedeiro intermediário	Ascaris (H)	Contaminação do quintal	Provisão sanitária
	Trichurius (H)		Tratamento de excreta antes de lançamento no solo
	Estrongiloidíase (H)	Solo contaminado na área comum de defecção	
	Hook Worm (H)	Contaminação de colheitas	
IV. Vermes do boi e porco latente e persistente Hospedeiros Boi e Porco	Teníase (H)	Contaminação do quintal, dos campos, de ração	Provisão sanitária
			Tratamento de excreta antes de lançamento no solo
			Inspeção na carne
V. Helmintos relacionados com água latente e persistente Hospedeiros aquáticos	Esquistossomose (H)	Contaminação da água	Provisão sanitária
	Clonorchíase (H)		Tratamento do excreta antes de descarga
	Difilobotríase (H)		Controle de infecção animal
	Fasciolopsíase (H)		Controle do alimento
	Paragonimíase (H)		
VI. Insetos relacionados com excreta	Filariase (H)	Sobrevivência de insetos em locais contaminados por fezes	Identificação e eliminação de locais contaminados
	Infecção das categorias I a V, especialmente I e II transmitidas por moscas e baratas (M)		Mosquiteiros

Fonte: GAMA, 2003.

KONZEN (2006) relata que o desenvolvimento da suinocultura intensiva trouxe a produção de grandes quantidades de dejetos, que são depositados em lagoas e depósitos abertos, nos quais há uma produção intensiva de gases nocivos que são lançados na atmosfera, entre eles o biogás cujo principal componente é o metano (CH<sub>4</sub>). Boa parte destes dejetos é lançada diretamente no solo e nascentes de água sem o devido tratamento, o que ocasiona a sua contaminação.

Sendo assim, a suinocultura deve priorizar, além de sua produtividade e aspectos de mercado, questões relativas à proteção sanitária e ambiental, não somente pela exigência de legislação aplicada ao setor, mas também visando minimizar impactos negativos ao ambiente.

Para que isto ocorra, é necessário avaliar estes impactos gerados com base em ações que têm como premissas estudos de acompanhamento da situação ambiental local, desenvolvimento de alternativas energéticas e rurais em função do volume de resíduos produzidos, adequação a distâncias de granja e manejo de dejetos com base na legislação federal, estadual e municipal (TAKITANE, 2000).

KUNZ (2003) mostra uma relação de Legislações aplicadas ao licenciamento ambiental para o funcionamento de granjas:

- Constituição Federal Brasileira - 1998 - Art. 225.
- Decreto Federal nº 0750/93 - Mata Atlântica.
- Lei Federal nº 9.605/98 - Lei dos Crimes Ambientais - Art. 60.
- Código das Águas - Decreto Federal nº 24.645 de 10/07/34 e alterações.
- Código Florestal Federal - Lei 4.771/65 e alterações.
- Lei Federal nº 6.766/79 - Disciplinamento do solo urbano.
- Legislações e Códigos Sanitários Estaduais e Municipais.

Apresenta também as principais autorizações para funcionamento de empreendimentos:

- LP (Licença Prévia): Determina a possibilidade de instalação da granja em determinado local;
- LI (Licença de Instalação): Faz a análise do projeto quanto a conformidade com a legislação ambiental;
- LO (Licença de Operação): Concede a licença de funcionamento da granja após conferência do projeto executado com base na LI e prevê um plano de monitoramento.

## 2.2 Aspectos Ambientais

### 2.2.1 O Efeito Estufa

Outra consequência relativa ao tratamento inadequado de dejetos de suínos é a emissão de gases causadores do efeito estufa na atmosfera, o que acarreta um aumento significativo de temperatura no planeta. Atualmente muito discutida e estudada, a mudança do clima representa como um dos maiores desafios ao desenvolvimento. O reconhecimento da importância deste problema firmou-se em 1979 em Genebra, Suíça, na primeira conferência mundial sobre o tema - *World Climate Conference* - onde se introduziu o conceito de que o ser humano pode afetar o clima e prejudicar sua qualidade de vida.

No decorrer destes mais de 30 anos, várias conferências focaram o tema da mudança climática no planeta. Entretanto, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC, estabelecido pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente gerou em 1990 o primeiro relatório onde se confirmaram evidências científicas sobre a mudança do clima. Em seu relatório de 2005, o IPCC afirma que o aquecimento observado durante os últimos 50 anos se deve muito provavelmente a um aumento dos gases do efeito estufa, sendo incrementado de 1 a 3,5 °C durante os próximos 100 anos, caso as medidas de prevenção não sejam tomadas (COSTA, 2006).

O gás metano é o segundo maior contribuinte para o aumento do efeito estufa e sua parcela só perde apenas para a do gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ). No entanto, as características de absorção térmica do  $\text{CH}_4$  são cerca de 20 vezes maior que a do  $\text{CO}_2$  (ALVIN, 2006).

A figura 2.1 apresenta um panorama mundial das emissões de gases de efeito estufa.

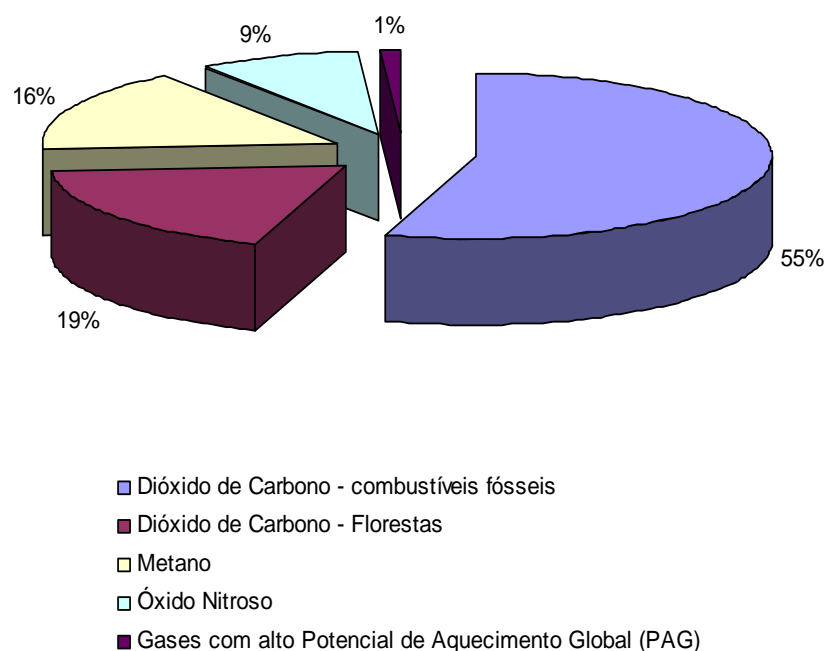


FIGURA 2.1 – Emissões de gases de efeito estufa.

Fonte: USCCTP, 2005

### **2.2.2 Crédito de Carbono e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)**

O tratamento adequado dos dejetos possibilita uma redução significativa dos impactos citados anteriormente, com destaque para aqueles projetos destinados à redução dos gases formadores do efeito estufa – Estes projetos se enquadram no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Através do mecanismo de flexibilização, é possível certificar as reduções destas emissões por entidades e procedimentos definidos pelo tratado de Kyoto, sendo viabilizadas para venda pelos chamados créditos de carbono. Na maioria dos casos os créditos de carbono são comprados pelos países, os chamados países do anexo I. (GUARDABASSI, 2006).

Esta quantificação é feita com base em cálculos, os quais determinam a quantidade de CO<sub>2</sub> a ser removida ou a quantidade de gases do efeito estufa que deixará de ser lançada na atmosfera. Cada crédito de carbono corresponde a uma tonelada de dióxido de carbono equivalente. Essa medida internacional foi criada com o objetivo de medir o potencial de aquecimento global dos gases causadores do efeito estufa. Tem-se como exemplo o metano, que possui um Potencial de Aquecimento Global (PAG) igual a 21, pois seu potencial causador do efeito estufa (capacidade de absorção térmica) é 21 vezes maior que o CO<sub>2</sub> (MENDES, 2005).

Existe a possibilidade do Brasil se colocar como país sede de projetos de tecnologia limpa que contribuam para a redução de emissão de gases do efeito estufa. Por não ter compromisso formal desta redução até 2012, conforme tratado de Kyoto, o país pode tornar-se vendedor de créditos de carbono, além de ser alvo de investimentos de países que necessitam reduzir suas emissões (COSTA, 2006).

A tonelada de carbono é comercializada por cerca de US\$ 15, podendo valer até US\$ 40. Estima-se que nos próximos cinco anos, o mercado de crédito de carbono terá um potencial, só nos Estados Unidos, de cerca de US\$ 50 bilhões (NORDHAUS, 2008).

Este trabalho adotará o valor de R\$ 30,00 por tonelada de carbono em virtude do primeiro leilão realizado para venda no Brasil, no qual o valor oscilou entre € 12,00 e € 16,00<sup>1</sup>.

## 2.3 Aspectos Tecnológicos

### 2.3.1 Lagoa de Decantação

Um sistema primário de tratamento de dejetos de suinocultura pode ser feito utilizando-se uma lagoa de decantação. Estes reservatórios possuem profundidade de quatro a cinco metros, valor que é justificado pela redução de possibilidade de penetração do oxigênio produzido na superfície para as camadas inferiores. O material orgânico aplicado deve ser de tal forma que sua taxa de consumo de oxigênio seja superior à de produção, criando condições anaeróbias neste ambiente.

Estas instalações chegam a remover em média 50% do valor da DBO<sub>5</sub>, que é a demanda bioquímica de oxigênio ou quantidade de oxigênio necessária para oxidar a carga orgânica por um período de 5 dias. Dejetos de suínos possuem DBO<sub>5</sub> de 40.000 mg/L (TECPAR, 2002). Este valor ainda é baixo, o que possibilita a instalação de lagoas posteriores para tratamento, visto que o efluente ainda possui grandes taxas de matéria orgânica.

Embora seja de fácil construção e operação, as lagoas de decantação apresentam aspectos desfavoráveis, tais como formação de maus odores em suas proximidades, surgimento de moscas e insetos no local, além da liberação direta do gás metano no ambiente. Estes fatores prejudicam seu funcionamento, o que faz com que seja implementado pelo empreendimento tecnologias de auxílio a este sistema (SERAFIM et al, 2003). A figura 2.2 ilustra o aspecto de uma lagoa de decantação.

---

<sup>1</sup> LEOPOLDO, Ricardo. Kassab: resultado do leilão de carbono foi 'excepcional'. Folha de São Paulo. São Paulo/SP, 26 set. 2007. Disponível em: <<http://noticias.uol.com.br/ultnot/brasil/2007/09/26/ult4469u11860.jhtm>>, acesso em 26/09/2007. € 1,00 equivale a R\$ 2,78 conforme cotação do dia 03/06/2009.



FIGURA 2.2 – Lagoa de decantação com formação de gás metano (bolhas) lançado diretamente na atmosfera.

Fonte: AGCERT, 2007.

Um sistema de tratamento biológico adequado torna-se eficiente para reduzir e estabilizar a matéria orgânica dos dejetos de suínos, além de aumentar a produção diária de biogás (AGNOESE, 2006b). A tabela 2.3 apresenta a classificação dos métodos de tratamento de dejetos de suínos de acordo com o tipo de tratamento.



**TABELA 2.3**  
**Classificação dos métodos de tratamento de dejetos suínos**  
**de acordo com o tipo de tratamento.**

Método	Tipo
Físico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Decantação</li> <li>- Peneiramento</li> <li>- Centrifugação</li> <li>- Separação química</li> </ul>
Biológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compostagem</li> <li>- Esterqueira</li> <li>- Lagoas de Estabilização</li> <li>- Reator anaeróbico</li> </ul>
Integrados	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biosistema Integrado (Reator anaeróbico + lagoas em série)</li> <li>- Sistema de lagoas de estabilização (Lagoas anaeróbicas e aeróbicas em série)</li> </ul>

Fonte: GAMA, 2003

No trabalho desenvolvido por SAMPAIO (2004) foram feitas medidas referentes às emissões de CH<sub>4</sub> provenientes do entorno das instalações de suínos (maternidade e terminação) e da lagoa de decantação. Verificou-se que ao redor das instalações, a concentração foi cerca de cinco vezes menor do que ao redor da lagoa de decantação de dejetos.

BEZERRA (2002) e CASAGRANDE (2003) definem Biosistema Integrado como um sistema onde se procura a aplicação de métodos e técnicas que eliminem os resíduos produzidos em determinado processo produtivo, transformando-os em matérias primas úteis em outros processos, de forma a minimizar os impactos gerados por estes resíduos. A figura 2.3 apresenta um exemplo de Biosistema Integrado.

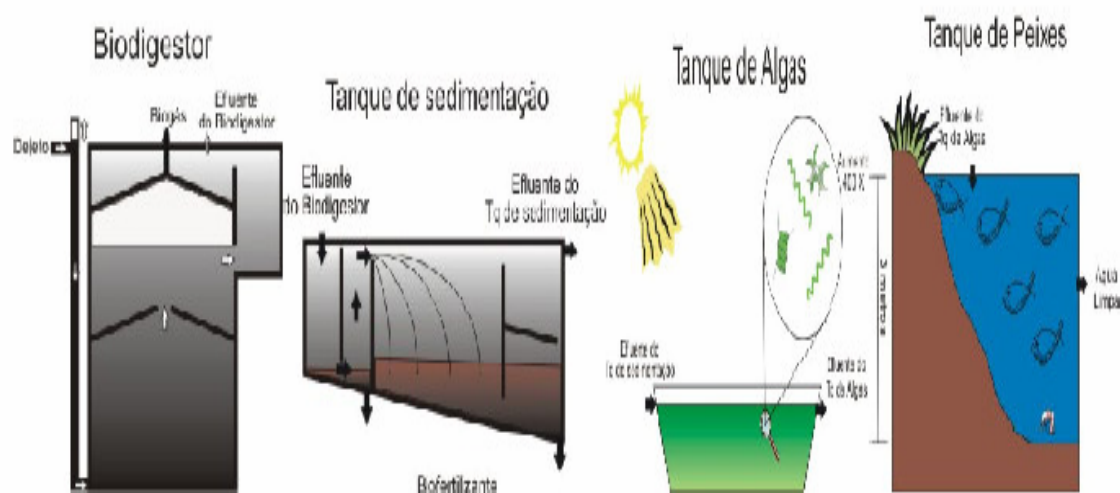


FIGURA 2.3 – Exemplo de um biosistema integrado.

Fonte: CASAGRANDE, 2003.

No exemplo mostrado acima, os resíduos do biodigestor são depositados no tanque de sedimentação para a formação do biofertilizante, que em seguida é levado para um tanque para o desenvolvimento de algas, que por contribuem na oxigenação da água quando inseridas em um tanque de peixes.

### 2.3.2 Biodigestores e Biogás

Uma maneira de se tratar os dejetos de suínos, e complementar a forma simplificada e pouco eficaz da lagoa de decantação, é através do uso dos biodigestores. Estes sistemas são câmaras nas quais, fora do contato da luz e do ar, se processam os fenômenos bioquímicos para a obtenção do biogás e o biofertilizante, denominado de digestão anaeróbica (MACINTYRE, 1996). A figura 2.4 mostra o processo de biodigestão anaeróbica.

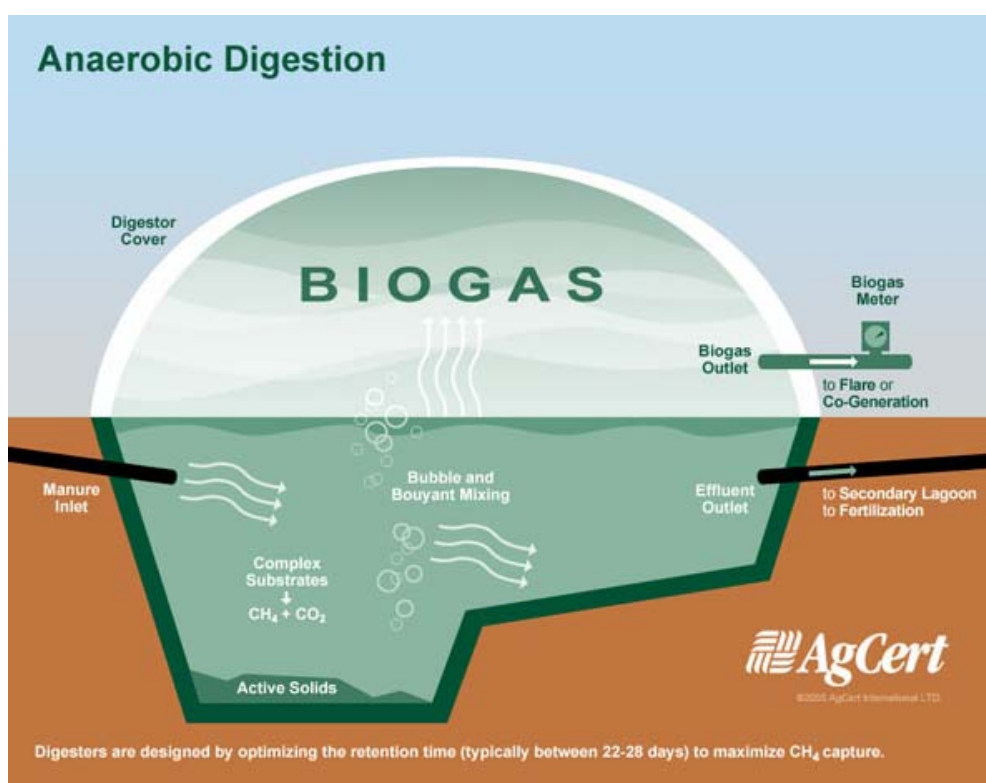


FIGURA 2.4 – Processo de biodigestão anaeróbia.

Fonte: AGCERT, 2007.

Este processo ocorre devido a ações de tipos de bactérias que atuam em estruturas orgânicas na falta de oxigênio, com a finalidade de produzir substâncias simples ( $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ ), deixando na parte líquida subprodutos como  $\text{NH}_3$ , sulfetos e fosfatos. Estes microrganismos produtores apresentam alta sensibilidade à variação de temperatura, dificultando o processo anaeróbio. A estabilidade térmica pode ser conseguida através do isolamento térmico da câmara de digestão nos meses de inverno, evitando assim baixa produção de biogás. Outro fator de grande influência na digestão é o pH existente no meio. Em um ambiente ácido, não há ação de bactérias sobre o material, enquanto que em meio alcalino, existe produção de  $\text{H}_2$  e anidrido sulfuroso. Este valor deve ser neutro ( $\text{pH} = 7,0$ ) para que se obtenha uma ação ideal e produção homogênea (ALMEIDA et al, 2002). A figura 2.5 apresenta as fases do processo de biodigestão.

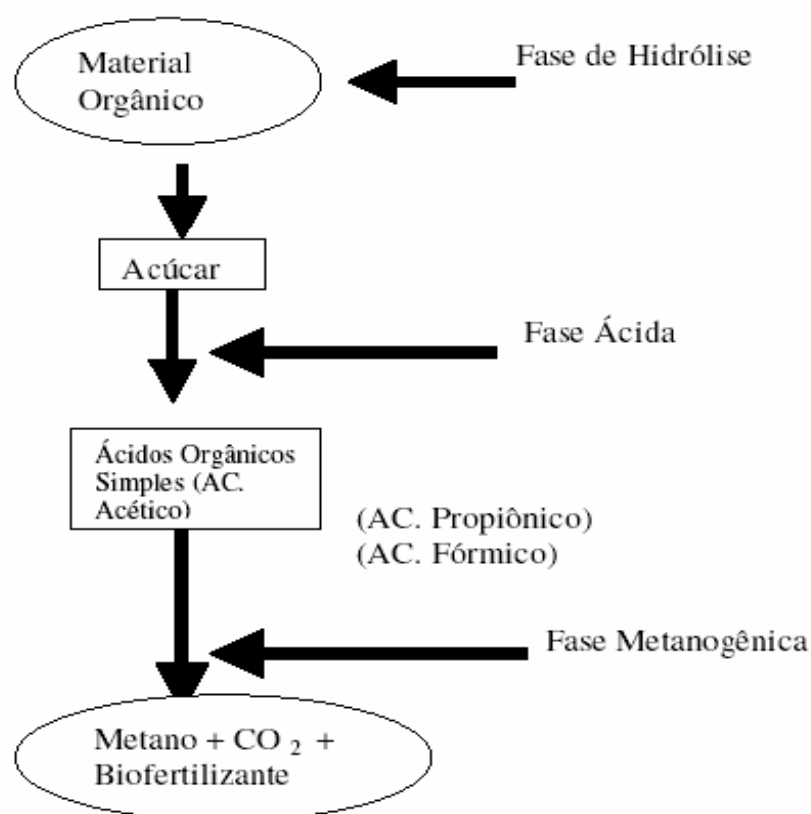


FIGURA 2.5 – Fases da ação das bactérias anaeróbicas no processo de biodigestão.

Fonte: BEZERRA, 2002.

Através deste processo o efluente, ao passar pelo biodigestor, libera carbono na forma de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ . Verifica-se assim uma diminuição na relação entre carbono e nitrogênio (relação C/N) da matéria orgânica, o que melhora as características do material para finalidades agrícolas. No entanto, a aplicação deste efluente deve levar em conta critérios técnico-financeiros de forma a evitar impactos no meio ambiente. Custos com transporte, topografia ondulada, propriedades de pequeno tamanho e a escassez de áreas agrícolas apropriadas para a mecanização, constituem barreiras ao uso de dejetos suínos na forma de biofertilizante (COSTA, 2006).

No caso do biogás, a composição em volume é de cerca de 60 a 70% de metano ( $\text{CH}_4$ ), 30 a 40% de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), 0 a 1% de gás sulfídrico ( $\text{SH}_2$ ) e amônia ( $\text{NH}_4$ ), e de 1 a 3 % de hidrogênio ( $\text{H}_2$ ) (CAMPOS,

2005). Já CAMPOS (2003) apresenta a tabela 2.4 que descreve a composição do biogás segundo análise de diferentes autores.

TABELA 2.4  
Composição do biogás.

Componente	Quantidades (em %)		
	EMBRABI (Empresa Brasileira de Biodigestores (s.d.))	ALVES et al. (1980)	National Academy of Sciences
CH <sub>4</sub> (Metano)	60 a 80	54 a 70	55 a 70
CO <sub>2</sub> (Dióxido de Carbono)	20 a 40	27 a 45	27 a 45
N <sub>2</sub> (Nitrogênio)	0,5 a 2	0,5 a 3	3 a 5
H <sub>2</sub> (Hidrogênio)	0,1 a 10	1 a 10	1 a 10
CO (Monóxido de Carbono)	máximo 0,1	0,1	0,1
O <sub>2</sub> (Oxigênio)	máximo 0,1	0,1	0,1
H <sub>2</sub> S (Gás Sulfídrico)	máximo 0,1	traços	traços
H <sub>2</sub> O (Água)	não cita	não cita	variável

Fonte: CAMPOS, 2003

A potência calorífica do biogás depende do teor de metano que contém, podendo variar de 20.950 a 25.140 kJ/m<sup>3</sup>, sendo que 1 m<sup>3</sup> deste gás (cerca de 0,716 kg) apresenta os seguintes equivalentes energéticos (DEGANUTTI et al, 2006) (MACINTYRE, 1996):

0,735 a 1,5 kg de carvão de lenha;

0,553 l de óleo diesel;

0,613 l de gasolina comum;

1,538 a 3,5 kg de lenha;

0,579 l de querosene;

0,454 kg de GLP;

1,55 kWh de energia elétrica

O biodigestor compõe-se basicamente de um tanque digestor que contém a biomassa no qual se processa a biodigestão anaeróbia, um armazenador para o biogás produzido (gasômetro) e dois reservatórios, um instalado antes do tanque digestor e outro após o gasômetro para armazenar o biofertilizante, que é utilizado como adubo natural na fertilização de solos agrícolas, constituindo uma vantagem adicional no uso de biodigestores no

meio rural. O tempo de retenção dos dejetos para a produção do biogás pode variar entre 20 a 50 dias, dependendo do sistema e tipo de carga a processar (OLIVEIRA, 2007).

Os biodigestores classificam-se conforme o sistema de alimentação dos mesmos em sistemas contínuos, os quais recebem carga de biomassa sob forma semi-líquida diariamente ou periodicamente sendo que a remoção e suprimento do biofertilizante e biogás se fazem de forma contínua, e em sistemas intermitentes, que recebem a carga total de biomassa que fica retida até que seja completado o processo de biodigestão. Os modelos conhecidos são o chinês, que é construído com alvenaria, o indiano, que possui câmara de gás móvel, e o de gasômetro de PVC, que utiliza lona plástica para armazenamento do gás. Este último tipo é mais utilizado no Brasil, devido à sua maior facilidade de construção e instalação, além de apresentar a relação custo x benefício mais atrativo (DEGANUTTI et al, 2006).

A tabela 2.5 apresenta uma comparação dos modelos chinês e indiano de biodigestores, e a tabela 2.6 apresenta as especificações gerais de biodigestor de gasômetro (câmara de gás) de PVC.

TABELA 2.5

Comparação dos modelos de biodigestores Chinês e Indiano.

SISTEMA CHINÊS	SISTEMA INDIANO
<b>MATERIAIS</b> Tijolo, pedra, concreto, areia, cimento, ferro.	
<b>SISTEMA</b>	
Abastecimento periódico, esvaziamento não-periódico.	Abastecimento e esvaziamento periódicos.
<b>POSSIBILIDADE DE AUTO-INSTALAÇÃO</b>	
Pode ser montado inteiramente pelo usuário, desde que tenha bastante habilidade como pedreiro.	Pode ser montado pelo usuário, mas a câmara de gás deve ser feita em oficina metalúrgica.
<b>ISOLAMENTO TÉRMICO</b>	
Feito dentro da terra, tem bom isolamento natural e a temperatura é mais ou menos constante. Pode-se melhorar o isolamento fazendo o biodigestor sob currais ou estâbulos.	Tem perdas de calor pela câmara de gás metálica, difícil de isolar, menos indicado para climas frios.
<b>PERDAS DE GÁS</b>	
A parte superior deve ser protegida com materiais impermeáveis e não-porosos; difícil obter construção estanque.	Sem problemas.
<b>MATÉRIAS-PRIMAS USADAS</b>	
Esterco e outros restos orgânicos (incluindo materiais fibroso), excrementos humanos.	Esterco, excrementos e materiais fibrosos acrescentados como aditivo.
SISTEMA CHINÊS	SISTEMA INDIANO
<b>PRODUTIVIDADE</b>	
Tempo de digestão 40-60 dias; produção de 150 a 350l por m <sup>3</sup> do volume do digestor/dia. Se for perfeitamente estanque pode produzir até 600 l/m <sup>3</sup> /dia	Tempo de digestão 40-60 dias, produção 400 a 600 l/m <sup>3</sup> /dia.
<b>MANUTENÇÃO</b>	
Deve ser limpadado uma ou duas vezes por ano.	A câmara de gás deve ser pintada uma vez por ano.
<b>CUSTO</b>	
Razoável se for possível a ajuda mútua.	Mais caro (depende do custo da campânula).
<b>MELHORIAS POSSÍVEIS</b>	
Abóbada impermeável, adoção de agitadores, montagem de aquecimento.	Campânula inoxidável, melhoria no isolamento térmico da mesma.

Fonte: GASPAR, 2003.

TABELA 2.6

Especificações gerais de Biodigestor de gasômetro de PVC modelo Sansuy.

Classe:	tratamento secundário.
Modelo:	Sansuy
Objetivo:	redução e estabilização da matéria orgânica; remoção de patógenos e agregação de valor através da produção de biofertilizante e de biogás para energia.
Descrição:	base de alvenaria retangular, profunda (2,5 m) e duas câmaras interligadas. Gasômetro construído em manta flexível de PVC (Vinimanta) fixa sobre uma valeta coberta de água que circunda a base.
Dimensionamento:	o volume da câmara de digestão ( $V_{cd}$ em $m^3$ ) pode ser estimado pela expressão $V_{cd} = V_d \times T_r$ em função da vazão de efluentes ( $V_d$ , em $m^3/dia$ ) e do tempo de retenção necessário para a produção de biogás (20 a 50 dias). Necessita de um tempo de aclimação e de inoculante (lodo) para a sua otimização.
Estrutura complementar:	tubos e conexões para o abastecimento e drenagem; sistema de armazenagem, de transporte e distribuição de biofertilizante; sistema de transporte e conversão de biogás em energia térmica ou elétrica.
Desempenho:	valorização dos dejetos para uso agrícola; remoção da ordem de 50% de ST; 80% da DBO <sub>5</sub> ; 25% de N; 60% de P; 45% de K e de 99% de CF. A produção de biogás é da ordem de 0,25 a 0,60 $m^3/dia$ para cada $m^3$ da câmara de digestão.
Forma de operação:	alimentação e drenagem em regime contínuo.
Vantagens:	simplicidade operacional; produção de biofertilizante e biogás para uso energético; redução de maus odores.
Desvantagens:	custo de investimento inicial e de manutenção; remoção periódica do lodo (1 a 5 anos); variabilidade da produção de biogás, em função do clima.
Recomendações:	criadores com disponibilidade de área para uso agrícola e interesse no aproveitamento de biofertilizante e de biogás como fonte de energia.
Custo de referência:	R\$ 150,00 por $m^3$ de câmara de digestão.

Fonte: OLIVEIRA, 2007.

As figuras 2.6, 2.7 e 2.8 ilustram respectivamente os modelos chinês, indiano e com câmara de gás em PVC.



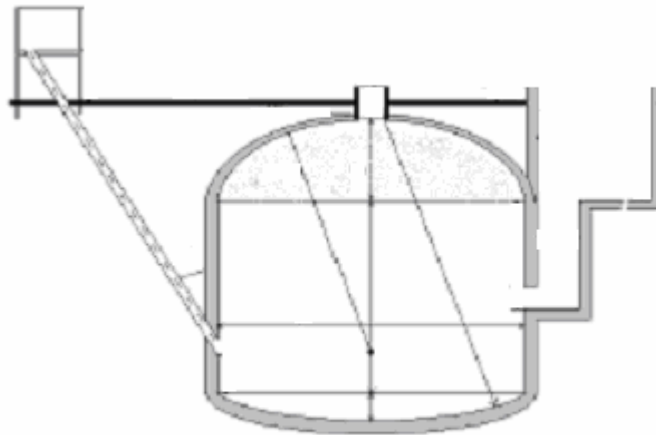


FIGURA 2.6 – Biodigestor modelo chinês em corte.

Fonte: DEGANUTTI et al, 2006.

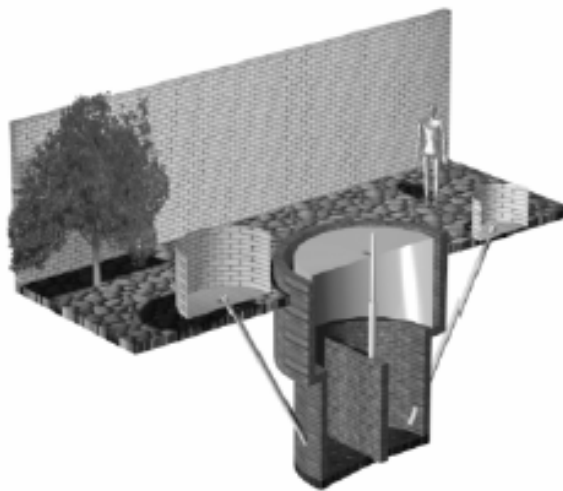


FIGURA 2.7 – Biodigestor modelo indiano em perspectiva.

Fonte: DEGANUTTI et al, 2006.

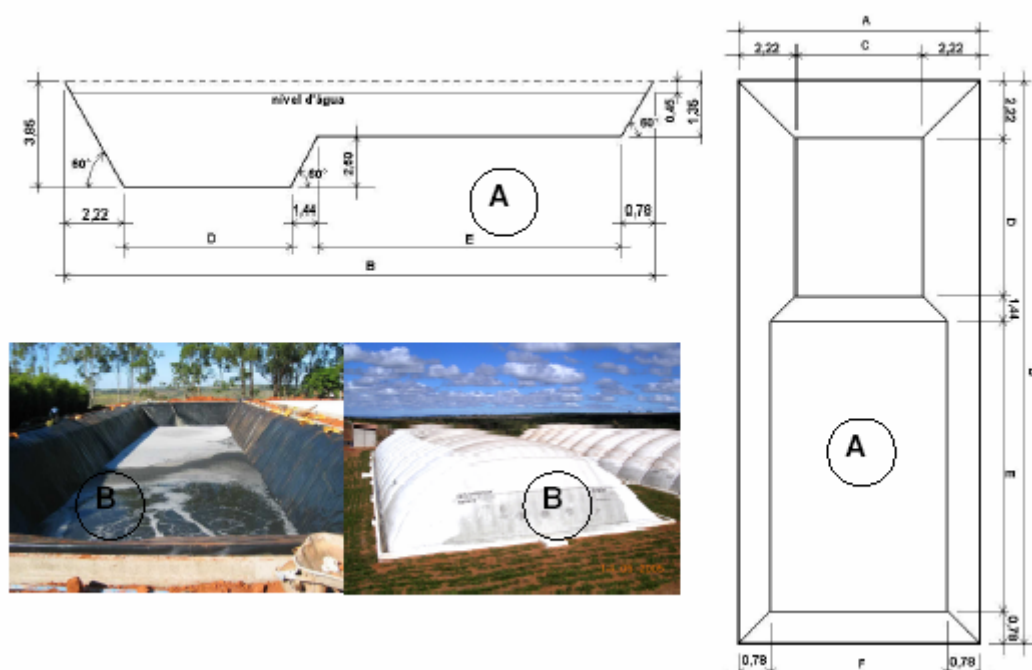


FIGURA 2.8 – Modelo de Biodigestor de gasômetro de PVC adotado pela empresa Agcert em planta baixa (A) e construído (B).

Fonte: KONZEN, 2006.

O tratamento de dejetos por biodigestão anaeróbia apresenta vantagens quanto a aspectos sanitários, ambientais, e energéticos, pois destrói organismos patogênicos e parasitas, produz metano que pode ser usado como uma fonte de energia, reduzindo a emissão deste gás na atmosfera (MMA, 2006).

## **2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste capítulo, foram apresentados os impactos gerados pelo tratamento inadequado de dejetos de suínos em seus aspectos sanitários e ambientais, sendo dada ênfase na proliferação de doenças provenientes dos dejetos e o lançamento dos gases resultantes na atmosfera, ocasionando o chamado efeito estufa. Foram mostradas também as tecnologias existentes para o tratamento adequado destes dejetos através dos biodigestores. No capítulo seguinte serão mostrados os aspectos de produção do biogás e a análise energética para seu aproveitamento.

# Capítulo 3

## Balanço Energético e Produção de Energia

### 3.1 Balanço Energético

O balanço energético é uma metodologia relevante para avaliar o potencial de produção de biogás energeticamente disponível. É definido como sendo a apuração da energia envolvida em um sistema de produção. O balanço energético é realizado por meio da análise das principais matrizes de entrada e saída de energia no processo de produção, as quais são calculadas por meio do poder calorífico das matérias-primas envolvidas. O balanço energético permite também a determinação da eficiência energética do processo (LUCAS JR., 2004; BRASIL, 2006).

A produção de suínos gera resíduos armazenadores de energia, que podem ser revertidos, reduzindo custos, melhorando o equilíbrio energético do sistema e aumentando o rendimento do processo. Como exemplo, tem-se a produção de energia elétrica gerada através do uso do biogás em uma granja de suínos com custos bastante competitivos (SOUZA, 2004).

#### 3.1.1 Metodologia

Determinaram-se os valores mensais de entradas e saídas de energia no processo de criação de leitões da Granja Monte Alegre, localizada no município de Rio Verde/Goiás, que possui 2 biodigestores de gasômetro de

PVC (manta de vinil) que já produzem biogás, o qual é queimado em flare (chama), mas ainda não é aproveitado como energia útil nos processos da granja.

Foram quantificados os poderes caloríficos dos principais componentes envolvidos no processo de produção de biogás na planta (granja), utilizados posteriormente no cálculo do coeficiente de eficiência energética. Não foram considerados os componentes energéticos das instalações e mão de obra, sendo determinados os seguintes consumos diretos e indiretos:

- a) Ração (kg);
- b) Água (l);
- c) Óleo Diesel (l);
- d) Energia Elétrica (kWh);
- e) Leitões produzidos (kg);
- f) Biofertilizante (m<sup>3</sup>);
- g) Biogás gerado (m<sup>3</sup>);

A construção e operação de um sistema de biodigestão anaeróbica (metanização ou biogaseificação) para produção de biogás (metano ou CH<sub>4</sub>) é composto pela seguinte etapas:

- 1) Escavação dos biodigestores;
- 2) Construção dos sistemas de escoamento de dejetos (tubulação) dos galpões até a caixa de passagem (coleta de dejetos);
- 3) Construção da caixa de coleta de dejetos, tubulação de alimentação dos biodigestores;
- 4) Impermeabilização dos biodigestores com manta interna de PVC;
- 5) Cobertura dos biodigestores com manta de PVC (manta de vinil), partida e enchimento do biodigestor;
- 6) Eliminação do metano (biogás) por combustão.

O biogás deve ainda passar por um processo de purificação, antes da queima, caso se pretenda realizar sua eliminação através de motores de combustão interna ciclo Otto, a fim de prolongar a vida do motor e reduzir a taxa de manutenção.

A energia térmica produzida no processo de combustão pode ser aproveitada para finalidades energéticas úteis, a fim de aumentar a eficiência da planta. Estes processos úteis podem compreender a geração de energia elétrica através de grupos geradores acionados por motores de ciclo Otto, acionamento de aspersores para lançamento de biofertilizantes, sistemas de aquecimento de água, climatização de ambientes, secagem de grãos, cozimento de alimentos, bombeamento de água ou efluentes, combustível para automotores ou em processos de produção de ração.

### **3.1.2 Componentes Energéticos Envolvidos no Processo – Dados de Entrada**

#### **3.1.2.1 Consumo de Energia Elétrica**

Foram feitos levantamentos de carga para estimativa de consumo nas seguintes instalações:

- Fábrica de Rações;
- Gestação 1;
- Gestação 2;
- Maternidade 1;
- Maternidade 2;
- Creche;
- Barreira;
- Habitações.

O consumo médio mensal é de 23.000 kWh.

#### **3.1.2.2 Consumo de Óleo Diesel**

A partir dos veículos utilizados, foi feito o levantamento do consumo mensal médio de óleo diesel, conforme mostrado na tabela 3.1.

TABELA 3.1

Relação de veículos e consumo.

Descrição	Consumo (l)
Caminhão 1313	800
Camionete D 10	250
Trator MF 275	100
TOTAL	1.150

Fonte: Granja Monte Alegre – Rio Verde GO.

**3.1.2.3 Consumo de Ração**

Foram levantados os consumos de ração por tipo utilizado nas fases de crescimento dos leitões, indicados na tabela 3.2.

TABELA 3.2

Relação de consumo de ração por tipo.

Tipo de Ração	Consumo (kg)
Inicial Medicada	45.300
Pré I	2.130
Pré II	10.360
Pré III	19.020
Lactação	37.720
Gestação	66.570
TOTAL	181.100

Fonte: Granja Monte Alegre – Rio Verde GO.

**3.1.2.4 Consumo de Água**

O consumo de água foi determinado através de medidor de vazão de água instalado no poço artesiano da granja, cujo valor médio mensal é de 15.000 m<sup>3</sup>.

### **3.1.3 Componentes Energéticos Envolvidos no Processo – Dados de Saída**

#### **3.1.3.1 Produção de Leitões**

Foi feito o levantamento da produção de leitões, determinando seu peso médio com base nas classes de pesos intermediários de suínos até 22,0 kg, de 22,1 kg a 24,0 kg, de 24,1 a 26,0 kg, e maiores que 26,0 kg. O valor mensal determinado foi de 3.160 leitões com peso médio por cabeça de 23,25 kg totalizando 73.470 kg.

#### **3.1.3.2 Produção de Biogás**

Determinou-se a produção de biogás através do medidor de vazão de gás instalado entre a saída do gasômetro do biodigestor e o flare. Foram coletadas inicialmente as medições diárias durante cada mês, sendo feita em seguida a média dos 3 últimos meses consecutivos. O valor médio mensal encontrado foi de 13.975,8 m<sup>3</sup>/mês.

#### **3.1.3.3 Produção de Biofertilizante**

Foi determinado o volume adicionado ao volume já armazenado na lagoa através da régua de medição. A produção mensal média com base nos 3 últimos meses é de 1.392,80 m<sup>3</sup>/mês.

### **3.1.4 Determinação dos Equivalentes Energéticos Envolvidos no Processo**

Para os componentes de entrada e saída do processo, foram apresentados seus respectivos equivalentes energéticos, indicados na tabela 3.3 e 3.4 respectivamente.



### 3.1.4.1 Componentes de entrada do processo

TABELA 3.3  
Componentes de entrada.

Componente	Equivalente Energético
Energia Elétrica	3.602,50 kJ/ kWh
Óleo Diesel	38.376,40 kJ/ l
Ração	13.593,55 kJ/ kg
Água	0,00085 kJ/ m <sup>3</sup>

Fonte: (Macintyre, 1996); (Lucas Jr., 2004); (Nunes, R. C. et al, 2005)

### 3.1.4.2 Componentes de saída do processo

TABELA 3.4  
Componentes de saída.

Componente	Equivalente Energético
Leitões	9.313 kJ/kg
Biogás	22.370,50 kJ/m <sup>3</sup>
Biofertilizante	18.603,68 kJ/m <sup>3</sup>

Fonte: (Lucas Jr., 2004); (Roppa, 2000); (Bezerra, 2002)

### 3.1.5 Determinação do Valor Energético dos Componentes

O valor energético (VE) é determinado para cada componente do processo, conforme Lucas (2004), e apresentado a seguir.

#### 3.1.5.1 Dados de Entrada

Energia elétrica: calculada pelo produto do consumo de energia elétrica [kWh] e seu equivalente energético [kJ/kWh], conforme equação 3.1.

$$VE \text{ Elétrica} = c \text{ [kWh]} \cdot eq. \text{ [kJ/kWh]} \quad (3.1)$$

Óleo diesel: calculado pelo produto do consumo [l] e seu equivalente energético [kJ/litro], conforme equação 3.2.

$$VE \text{ Óleo diesel} = c [l] \cdot eq.[kJ/litro] \quad (3.2)$$

Ração: calculado pelo produto do consumo total de rações [kg] e seu equivalente energético [kJ/kg], conforme equação 3.3.

$$VE \text{ Ração} = c [kg] \cdot eq.[kJ/kg] \quad (3.3)$$

Água: calculado pelo produto do consumo mensal [l] e seu equivalente energético [kJ/l], conforme equação 3.4.

$$VE \text{ Água} = c [l] \cdot eq.[kJ/m^3] \quad (3.4)$$

### 3.1.5.2 Dados de Saída

Leitões: Calculado pelo peso total [kg] e seu equivalente energético [kJ/kg], conforme equação 3.5.

$$VE \text{ Leitões} = p [kg] \cdot eq.[kJ/kg] \quad (3.5)$$

Biogás: Calculado pela produção mensal [m³] e seu equivalente energético [kJ/m³], conforme equação 3.6.

$$VE \text{ Biogás} = p [m^3] \cdot eq.[kJ/m^3] \quad (3.6)$$

Biofertilizante: Calculado pela produção mensal [m³] e seu equivalente energético [kJ/m³], conforme equação 3.7.

$$VE \text{ Biofertilizante} = p [m^3] \cdot eq.[kJ/m^3] \quad (3.7)$$

### 3.1.6 Coeficiente de Eficiência Energética

Calculado pela relação entre energia produzida e consumida, ou seja, pela relação entre a somatória dos valores energéticos dos componentes de saída e dos componentes de entrada (BRASIL, 2006).

$$\eta = \frac{\sum VE Saídas}{\sum VE Entradas} \quad (3.8)$$

### 3.1.7 Resultados

Nas tabelas 3.5 e 3.6 são mostrados respectivamente os valores energéticos dos componentes de entrada e saída envolvidos no processo de produção de biogás na granja, aplicando as equações de (3.1) a (3.7).

TABELA 3.5

Dados de entrada.

Componente	Valor Energético (MJ)
Energia Elétrica	82.857,64
Óleo Diesel	44.132,85
Ração	2.461.793
Água	53,43
TOTAL	2.588.836,92

TABELA 3.6

Dados de saída.

Componente	Valor Energético (MJ)
Leitões	615.681,53
Biogás	312.645,88
Biofertilizante	25.677,78
TOTAL	954.005,20

Da Equação (3.8) obtem-se o valor da eficiência energética utilizando o biogás como saída:

$$\eta = 0,37. \quad (3.9)$$

Desprezando o uso do biogás:

$$\eta = 0,25. \quad (3.10)$$

### 3.1.8 Produção de energia elétrica utilizando biogás

No caso do biogás, a energia química é convertida em energia mecânica através de um processo de combustão interna com ciclo Otto, que aciona um gerador elétrico, convertendo a energia mecânica em energia elétrica. Outra alternativa seria converter diretamente a energia química do biogás em energia térmica, sendo utilizado em aquecimento ou resfriamento de ambientes, bombeamento de água ou biofertilizante, caldeira, cozimento de alimentos, aquecimento de água, secagem de grãos ou outra finalidade que demande energia térmica (OLIVA ET AL, 2001).

Conforme tabelas 3.3 e 3.4, a relação entre equivalentes de biogás e energia elétrica, é de cerca de 6,2 kWh/m<sup>3</sup>. Entretanto, sua conversão para energia elétrica utilizando grupo geradores (motores de ciclo Otto) reduz este valor para cerca de 25% (1,55 kWh/m<sup>3</sup>), em função do rendimento dos motores de combustão de ciclo Otto operando com biogás (MACINTYRE, 1996; SOUZA, 2004).

A potência elétrica instalada da granja é de aproximadamente 200 kW e seu consumo médio mensal de energia elétrica é 23.000 kWh, o que resulta em um consumo médio diário aproximado de 766 kWh.

A produção média mensal aproximada de biogás da granja é de 13.900 m<sup>3</sup>, resultando em produção média diária aproximada de 460 m<sup>3</sup>. A instalação de um grupo gerador alimentado por motor de combustão de biogás pode suprir quase toda a energia para o funcionamento do sistema, reduzindo custo de produção e aumentando a eficiência energética do processo.

### 3.1.9 Custos de utilização

O custo de produção da eletricidade com aproveitamento do biogás é composto do capital investido na construção e manutenção do biodigestor e do grupo gerador. O biogás pode ser comparado com outras fontes alternativas de energia. Seu custo de geração pode ser competitivo inclusive com outros tipos de biomassa, sendo vantajoso em relação às fontes eólica e fotovoltaica conforme pode ser verificado na tabela 3.7 (SOUZA, 2004).

TABELA 3.7

Comparação dos custos mínimo e máximo do biogás com outras fontes alternativas de energia.

Sistema	Energia (R\$/MWh)
Biogás	67 a 190
Fotovoltaico	200 a 400
Eólico	50 a 80
Biomassa	40 a 70
Motor Diesel	100 a 300
Microcentral Hidrelétrica	20 a 40

Fonte: SOUZA, 2004.

Outra questão importante quanto ao custo de utilização do biogás é tratar-se de uma tecnologia considerada um mecanismo de desenvolvimento

limpo (MDL), podendo ter o volume equivalente de carbono não emitido na atmosfera negociado em bolsas de valores. Esta negociação pode inclusive se dar através da reunião de produtores de suínos em cooperativas ou associações. Tendo-se em conta que o efeito estufa produzido pelo gás metano ( $\text{CH}_4$ ) é cerca de vinte vezes superior ao do gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), sua combustão deve gerar dividendos concretos na remuneração dos seus créditos de carbono.

A planta utilizada como caso estudo tem seus créditos de carbono já emitidos e é periodicamente auditada pela Organização das Nações Unidas (ONU). Os custos de instalação dos dois biodigestores apresentados foi pago por uma empresa parceira que recebeu o direito de negociar 90% dos papéis de crédito de carbono gerados pela planta, pelo período de dez anos.

A produção de biogás representa cerca de 32,77 % do total de saídas de energia, 19,20 % do fluxo líquido de energia e 8,84 % da energia total do sistema estudado.

A eficiência do sistema sem o uso do biogás (lançado diretamente na lagoa), seria de 0,25, conforme a expressão 3.10. A conversão do biogás gerado, exclusivamente em energia elétrica, elevaria a eficiência energética para 0,37, conforme expressão 3.9. Neste caso, a Granja teria uma economia financeira mensal de cerca de R\$ 5.500,00 referente à fatura paga para a concessionária de energia. O gás gerado poderia também ser aproveitado para alimentar sistemas de climatização nos pavilhões de maternidade e creche, através de aquecedores e refrigeradores a biogás, no aquecimento de água e na secagem de grãos para a produção de ração e em outras finalidades já mencionadas.

Vale destacar que a escolha da utilização do gás para produção de energia elétrica ou de energia para outros processos deve se basear em um estudo econômico, tendo-se em conta o baixíssimo rendimento (25%) da conversão do biogás para energia elétrica, em função da utilização de motores de combustão. Mesmo assim, a combustão útil do biogás pode tornar a propriedade auto suficiente em geração de energia para seus processos de criação, de maneira limpa.

A queima do metano (biogás) contribui significativamente para a redução do efeito estufa, representando uma redução equivalente na emissão de gás carbônico. Assim sendo, a negociação dos seus créditos de carbono é um importante fator econômico para justificar a combustão do biogás, por se tratar de um mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), conforme previsto no Protocolo de Quioto.

### **3.2 Levantamento da Capacidade de Geração de Energia Elétrica da Granja**

O estudo de caso apresentado neste trabalho analisa o aproveitamento energético do biogás proveniente de dejetos de suínos para geração de energia na Granja Monte Alegre, que possui 1500 matrizes com sistema de confinamento e giro de 3500 leitões para entrega aos 60 dias mais 25 kg de peso vivo. Conforme visto no item anterior, já estão instalados 2 biodigestores de gasômetro de PVC, marca SANSUY que já produzem biogás, o qual é queimado em flare, e ainda não é aproveitado como energia útil no processo da granja. A capacidade de produção diária de biogás em média, é de 460 m<sup>3</sup>/dia. Sendo o equivalente energético elétrico do gás igual a 1,55 KWh/m<sup>3</sup> (SOUZA, 2004), a granja possui um potencial de geração mensal de energia que pode chegar à ordem de 23.000 KWh. Os detalhes de construção e operação dos biodigestores são mostrados nas figuras 3.1 a 3.14.



FIGURA 3.1 – Escolha da área para início do projeto.

Fonte: NOGUEIRA JR., 2004



FIGURA 3.2 – Terraplanagem.

Fonte: NOGUEIRA JR., 2004





FIGURA 3.3 – Escavação.

Fonte: NOGUEIRA JR., 2004.



FIGURA 3.4 – Abertura de valas para tubulações.

Fonte: NOGUEIRA JR., 2005.



FIGURA 3.5 – Instalação de tubulações.

Fonte: NOGUEIRA JR., 2005.



FIGURA 3.6 – Caixa de carga e reservatórios.

Fonte: NOGUEIRA JR., 2005.



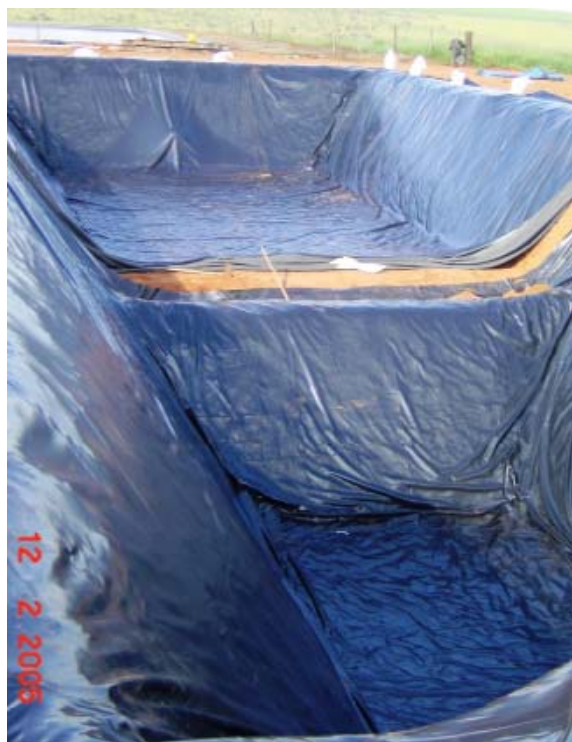


FIGURA 3.7 – Instalação manta de PVC interna.

Fonte: NOGUEIRA JR., 2005.



FIGURA 3.8 – Acabamento das tubulações.

Fonte: NOGUEIRA JR., 2005.



FIGURA 3.9 – Início de enchimento do biodigestor.

Fonte: NOGUEIRA JR., 2005.



FIGURA 3.10 – Instalação de gasômetro de PVC (câmara de gás).

Fonte: NOGUEIRA JR., 2005.





FIGURA 3.11 – Início do enchimento do gasômetro.

Fonte: NOGUEIRAJR., 2005.



FIGURA 3.12 – Captação do biogás para queima.

Fonte: NOGUEIRA JR., 2005.



FIGURA 3.13 – Armazenamento do biogás.

Fonte: NOGUEIRA JR., 2005.



FIGURA 3.14 – Queima do biogás pelo flare.

Fonte: NOGUEIRA JR., 2005.

### 3.3 Produção de Energia Elétrica

Os grupo geradores são equipamentos que se compõem basicamente de um motor ciclo Otto a biogás, turbo alimentado e com intercooler acoplado diretamente ao gerador, um sistema de alimentação com ignição eletrônica e um gerador. Nos modelos modernos, utiliza-se um sistema de aspiração feita por conjunto motor booster, dispensando unidades auxiliares de sucção do biogás. Sistemas de filtração e desumidificação são utilizados,



além de possuírem unidade de aquecimento e resfriamento e controle de temperatura do gás.

A figura 3.15 ilustra a produção de energia elétrica utilizando o motor a biogás operando com ciclo Otto.

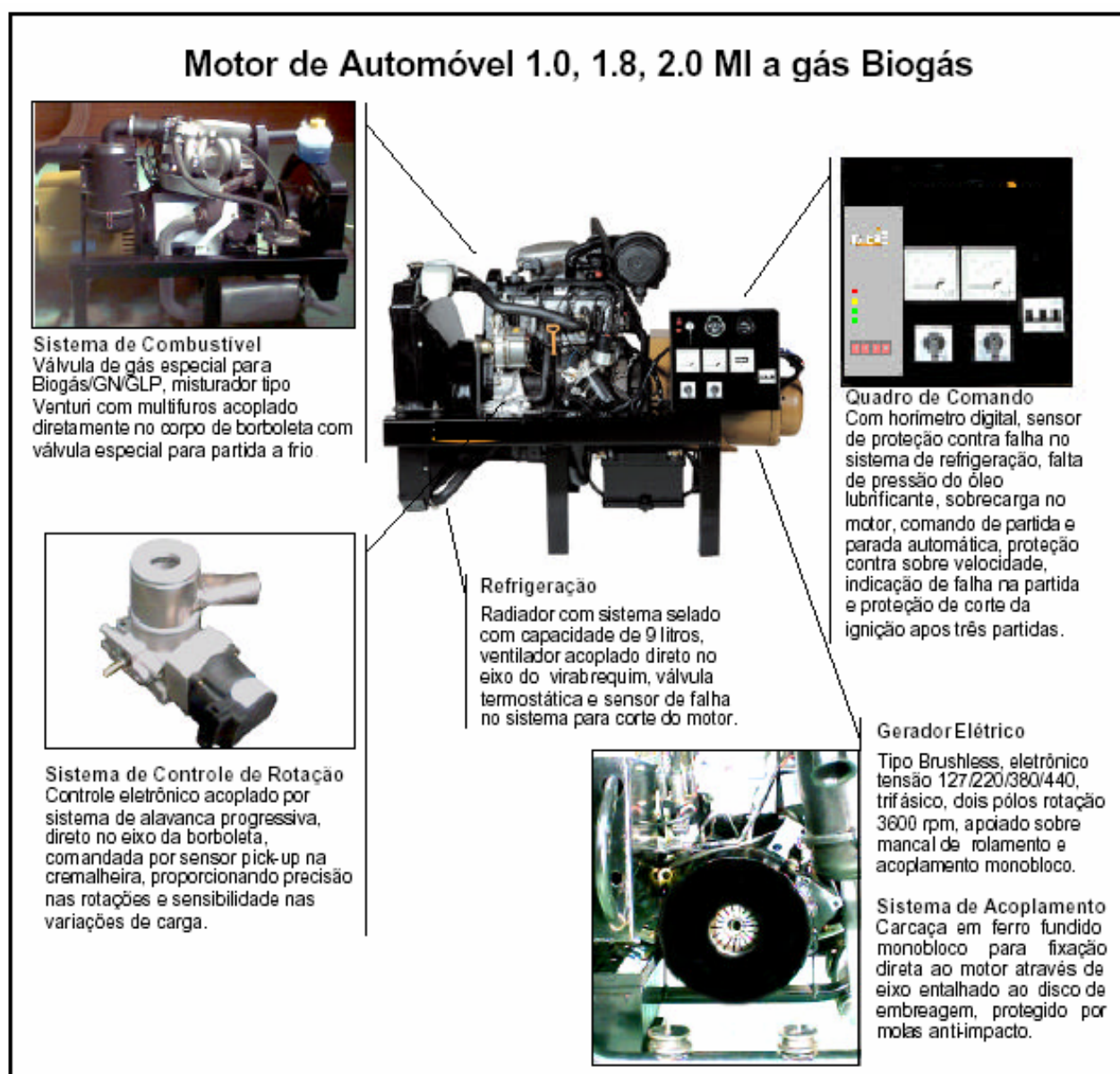


FIGURA 3.15 – Sistema de geração elétrica e motor de automóvel a gasolina adaptado para biogás com detalhes construtivos.

Fonte: TRIGAS, 2005



### 3.4 Purificação do Gás Metano

Os sistemas de purificação dos gases são desenvolvidos para corrigir as propriedades naturais do biogás para que o mesmo atenda as especificações técnicas dos equipamentos de conversão, principalmente os motores de combustão.

A presença de substâncias não combustíveis no biogás, tais como água e dióxido de carbono, prejudica o processo de queima tornando-o menos eficiente. Estas substâncias entram no lugar do combustível no processo de combustão e absorvem parte da energia gerada. Nos biodigestores anaeróbios verifica-se uma produção de biogás que contém entre 0,3 e 2% de  $\text{H}_2\text{S}$  e traços de  $\text{N}_2$  e  $\text{H}_2$  (MACINTYRE 1996).

Existem diferentes alternativas de purificação aplicáveis ao biogás, devendo ser definida a mais adequada para a aplicação energética que se pretende. Para a aplicação em motores de combustão interna e posterior geração de energia, é necessário um processo no qual o biogás passa por um filtro de óxido de ferro, responsável pela retirada de enxofre, sendo enviado então para um compressor de baixa pressão que tem por finalidade enviá-lo para uma torre de absorção de  $\text{CO}_2$  onde por intermédio de água pulverizada forma-se  $\text{H}_2\text{CO}_3$  que é levado para caixa de eliminação onde  $\text{CO}_2$  e água se separam e o gás carbônico é liberado para atmosfera (COSTA, 2006).

MAGALHÃES (2004) e PERGHER (2006), afirmam que a remoção de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  e água possibilita melhor utilização do biogás na geração de energia elétrica, além de proporcionar aumento em seu poder calorífico com diminuição de sua densidade e aumento de vida útil dos sistemas que o utilizam. Cada componente da uma mistura é dissolvido unitariamente em um líquido. Essa operação pode envolver reações químicas (absorção em carbonato de potássio, hidróxido de cálcio e hidróxido de sódio), ou ser essencialmente físicas (crivos moleculares, separação por membranas e em colunas absorção).

Para a remoção de  $H_2S$ , utiliza-se uma planta, na qual é constituída de colunas de absorção (semelhantes as de  $CO_2$ ), bombas de recalque, compressor de ar, solução química de ferro-ácido etileno diamino tetra acético (Fe-EDTA) e sistema de separação de partículas e acessórios. A figura 3.16 ilustra o processo de purificação do biogás.



FIGURA 3.16 – Detalhe de unidade de purificação e compressão de biogás. A) coletor de umidade; B) Filtro de  $H_2S$ ; C) Espuma; D) Totalizador de gás; E) Compressor.

Fonte: KUNZ, 2006

Com base na relação entre o valor do investimento da planta mais os custos anuais de consumo de energia elétrica e o volume de biogás tratado anualmente, é possível estimar um valor do custo do biogás purificado. Segundo FRARE (2006), este valor tende a estabilizar entre R\$ 0,10 e R\$ 0,15 por metro cúbico para vazões superiores a 200  $m^3/h$  de biogás produzido.

### 3.5 Uso Direto do Biogás

Entende-se por conversão energética o processo que transforma um tipo de energia em outro. No caso do biogás a energia química é convertida em energia mecânica através de um processo de combustão, que ativa um alternador convertendo em energia elétrica. Pode-se também converter diretamente em energia térmica, sendo utilizado em aquecimento ou resfriamento de ambientes, caldeiras e sistemas de co-geração.

A geração de energia elétrica a partir do biogás pode ser considerada como alternativa por suas vantagens estratégica, econômica e ambiental. No campo estratégico tem-se a geração descentralizada, próximo aos pontos de carga (biodigestores). Já na parte econômica pode-se ter a utilização do combustível disponível no local e de baixo custo (dejetos suínos). E por fim, na área ambiental pode-se utilizar uma energia renovável (biomassa) com menores emissões de poluentes (COSTA, 2006).

As opções para utilização do biogás estão representadas na figura 3.17.

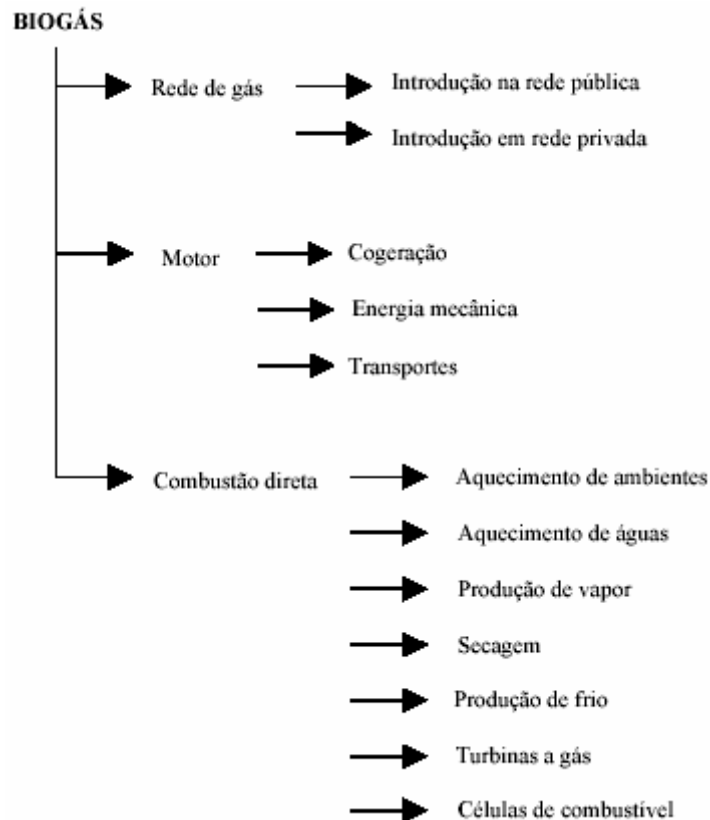


FIGURA 3.17 – Principais opções para utilização/conversão do biogás.

Fonte: COLDEBELLA, 2006

### 3.5.1 Turbinas e Motores de Combustão Interna

Para a geração de energia elétrica a partir do biogás existem basicamente dois tipos de tecnologias disponíveis comercialmente: Turbinas a gás e grupo geradores de combustão interna.

No caso das turbinas a gás, podem ser divididas em micro turbinas, com faixa de potência de até 100 kW e turbinas de médio e grande porte, com faixas de potências acima de 100 kW até quase 300 MW. As turbinas de pequeno porte não são encontradas com facilidade no mercado. As figuras 3.18 e 3.19 ilustram um exemplo de uma turbina a gás de pequeno porte.

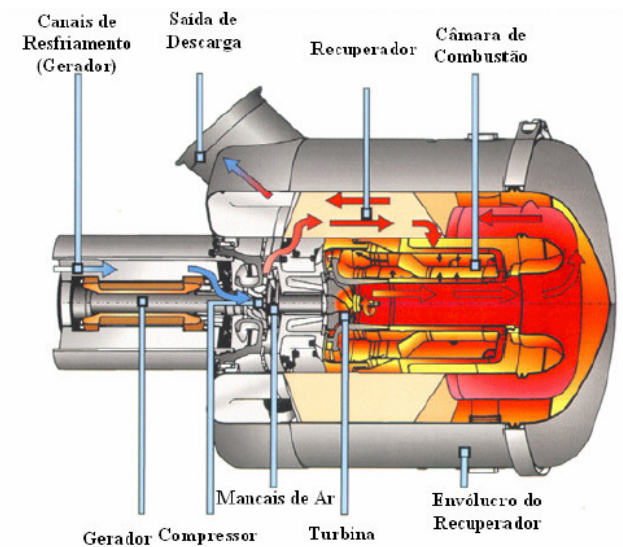


FIGURA 3.18 – Interior da Turbina Capstone.

Fonte: CAPSTONE, 2007

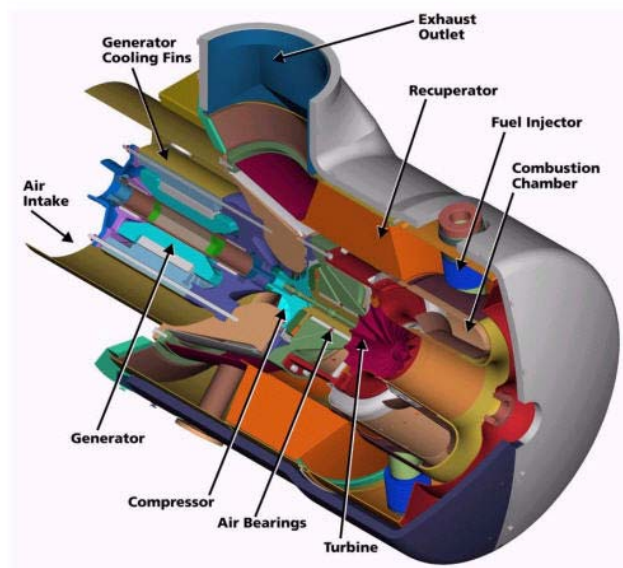


FIGURA 3.19 – Microturbina a Biogás em Perspectiva.

Fonte: CAPSTONE, 2007

Já os motores de combustão interna são máquinas que transformam energia térmica em energia mecânica, sendo o ciclo de operação do tipo Otto.

Outra alternativa tecnológica é a conversão de motores ciclo Diesel para ciclo Otto, cuja vantagem é aproveitar a alta taxa de compressão

dos motores Diesel para compensar o baixo poder calorífico do biogás. Atualmente além da alta disponibilidade de motores a gás, os motores Otto apresentam taxas de compressão próximas àsquelas dos motores Diesel, a um custo menor.

GOMIDE (2006), afirma que o biogás possui um baixo poder calorífico em relação aos outros combustíveis, o que se deve à presença de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) no biogás. Sendo assim, não é indicado o seu uso em motores automotivos, pelo fato de gerar perda de potência. Mas, em questão de segurança, ele é um combustível bastante seguro, possuindo alta temperatura de ignição no ar e também uma boa taxa de compressão, quando comparado com outros combustíveis do ciclo Otto. Assim sendo, pode-se indicar seu uso, mesmo em motores do ciclo Otto estacionários, como combustível para a geração de energia elétrica, bem como o seu uso direto em fogões, aquecedores e incubadoras, conforme mostrado na tabela 3.8:

TABELA 3.8  
Correlação das características térmicas do biogás  
e metano com outros combustíveis convencionais.

Combustível	Biogás*	Metano	Álcool	Gasolina
Quantidade	1 m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup>	1 litro	1 litro
Calor liberado (kJ)	23.400	36.000	19.812	32.486
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	1,2	0,72	809	739
Poder calorífico Inferior (KJ/kg)	19.500	50.000	24.490	43.960
Iso-octanas	130	100	99	85
Razão de compressão	15 – 20	10 - 18	6 - 12	6 - 10
Temperatura de ignição no ar (°C)	650	650	-	220
Ar/combustível Estequiométrico (kg/kg)	10,2	17,2	9,0	14,8
1 m <sup>3</sup> de metano equivale	1,5 m <sup>3</sup>	1,0 m <sup>3</sup>	1,8 litro	1,1 litro
1 m <sup>3</sup> de biogás equivale	1,0 m <sup>3</sup>	0,65 m <sup>3</sup>	1,2 litro	0,72 litro

\* Biogás com 65% de metano

Fonte: GOMIDE, 2006

### 3.5.2 Produção de Biofertilizante

Após o período de produção de biogás, determinado pelo tempo de retenção da carga orgânica, o resíduo formado e retirado do biodigestor para uma lagoa auxiliar constitui em um excelente fertilizante para o solo, o que compõe uma vantagem adicional no emprego de sistemas de biodigestão. Segundo WINTER et al. (2005), na utilização do biofertilizante, é de grande importância a elaboração de um plano de manejo e adubação, considerando sua composição química adequada, a área a ser utilizada, o tipo de solo e as exigências do tipo de cultura a ser implantada.

MEISTER (2005) afirma que a produção de biofertilizante, após a realização da digestão anaeróbia em biodigestores, é ressaltada como um dos meios mais adequados de tratamento de efluentes com alta concentração de material orgânico e com possibilidades de utilização na produção agrícola, complementando fertilizantes minerais.

Já FÁVERO (2003) diz que o reaproveitamento dos dejetos como biofertilizante na propriedade requer área disponível e distanciamento de mananciais de água. A disposição do resíduo no solo deve obedecer aos critérios de análise do solo, não ultrapassar a capacidade de absorção do sistema na planta e uso do plantio de espécies consumidoras de Nitrogênio ( $N_2$ ) e Fósforo (P).

GOMIDE (2006) relata que depois de passarem no biodigestor, os resíduos apresentam alta qualidade para uso como fertilizante agrícola, devido, principalmente, aos aspectos de diminuição no teor de carbono do material, pois a matéria orgânica ao ser digerida perde exclusivamente carbono na forma de  $CH_4$  e  $CO_2$ ; ao aumento no teor de nitrogênio e demais nutrientes em consequência da perda de carbono; à diminuição da relação C/N da matéria orgânica, o que melhora as condições do material para fins agrícolas, e à maior facilidade de absorção do biofertilizante pelos microrganismos do solo, devido ao material já se encontrar em grau avançado de decomposição aumentando a eficiência do mesmo. Afirma ainda que, o resíduo decorrente da decomposição da matéria orgânica, por processo anaeróbio, apresenta as seguintes vantagens:

O conteúdo de matéria orgânica do resíduo resulta em uma capacidade de retenção de umidade pelo solo, evitando demora no crescimento das plantas durante o tempo seco;

Melhoria na estrutura do solo, especialmente no argiloso, permitindo maior penetração de ar e, conseqüentemente, um estímulo de oxidação da matéria orgânica pelos organismos do solo;

Introdução de minerais necessários ao crescimento das plantas.

No caso da Granja Monte Alegre, determinou-se a capacidade de produção de biofertilizante com base na quantidade de dejetos a serem decompostos, obtendo-se um valor de cerca de 1.400 m<sup>3</sup>/mês. Segundo dados da empresa, o biofertilizante é utilizado na adubação em pastagens para rebanho bovino, com resultados significativos e redução de aplicação de adubos químicos.

A utilização dos dejetos suínos numa propriedade agrícola permite o desenvolvimento de sistemas integrados de produção que podem corresponder a um somatório de alternativas produtivas que diversificam as fontes de renda, promovendo maior estabilidade econômica e social. Assim, os sistemas que produzem o biogás, podem adicionalmente tornar a exploração pecuária auto-suficiente em termos energéticos (MEISTER, 2005), contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

### 3.6 Potencial Energético

As perspectivas para o desenvolvimento no setor da suinocultura apontam para um crescimento de cerca de 20 % da produção de suínos para o estado de Goiás nos próximos cinco anos. Na região de Rio Verde existe cerca de 1.000.000 animais em regime de criação / terminação<sup>1</sup>.

Junto a este desenvolvimento, tem-se uma grande perspectiva quanto ao aproveitamento energético do biogás gerado na suinocultura. Segundo SOUZA (2004), os rejeitos de um suíno produzem em média cerca de 0,50 m<sup>3</sup> de gás metano por dia obtido dos dejetos após processo de

---

<sup>1</sup> Informação fornecida pela AGIGO – Associação dos Granjeiros Integrados de Goiás em 12/09/2007.



biodigestão. Sendo assim, a região sudoeste do estado possui um potencial de geração de energia elétrica mensal da ordem de  $1.000.000 \times 0,50 \times 1,55 \times 30 = 23,25$  GWh, onde cada granja tornaria uma unidade auto-sustentável, consumindo a energia que ela mesmo produz, gerando o mínimo de impacto ao meio ambiente.

### **3.7 Considerações Finais**

Neste capítulo foi feita uma análise do potencial energético do biogás com base no estudo do balanço energético e determinação de sua eficiência na granja em estudo. Foram mostradas também as tecnologias utilizadas para a produção do gás e seu aproveitamento como combustível, passando por etapas de purificação e compressão do gás e seu uso final, seja para geração de energia elétrica ou térmica. Adicionalmente, foram também apresentados estudos sobre a produção de biofertilizante e o potencial energético da região estudada. A análise econômica será mostrada no capítulo seguinte.

# Capítulo 4

## Análise Econômica

Neste capítulo, será feita uma análise econômica do potencial energético do biogás produzido na granja Monte Alegre com base em alternativas de conversão de energia no sistema. São fornecidas as seguintes informações preliminares:

- a) Números de suínos da Granja: 5.000;
- b) Consumo mensal de energia elétrica: 23.000 kWh;
- c) Fatura mensal de energia elétrica: R\$ 5.500,00;
- d) Produção mensal de biogás: 13.900 m<sup>3</sup>.
- e) Período de estudo: 10 anos

No programa utilizado para este estudo, *Biogás: Geração e Uso Energético – Efluentes e Resíduo Rural da CETESB*, cujo programa está disponível no site <http://www.cetesb.sp.gov.br/biogas/default.asp>, é preenchida uma planilha de demandas de energia da instalação, sendo feita também a escolha da tecnologia de uso energético, que é dividida em duas etapas: a escolha das quantidades de energia que serão utilizadas; e a escolha da tecnologia de conversão e uso da energia, que no caso em estudo, apresenta quatro alternativas:

- a) Manter a situação atual (queima pelo flare);
- b) A utilização do biogás para aquecimento;

- c) A utilização combinada do biogás para aquecimento e geração de energia elétrica;
- d) A utilização exclusiva do biogás para a geração de energia elétrica.

Foi feito um projeto simplificado do sistema de coleta e tratamento do biogás, que inclui quantidades e custos de diferentes componentes desse sistema. Um relatório de investimentos é gerado, onde se verificam o custo da geração energética, e os potenciais ganhos pela venda de créditos de carbono.

Em seguida é feita a análise econômica para determinar o tempo de retorno do investimento (*payback*), o valor presente líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), considerando economias de energia, biofertilizante gerado e créditos de carbono para um período de 10 anos ( $n=10$ ) a uma taxa mínima de atratividade (TMA) de 11,5 % ao ano ( $i = 0,115$  a.a.) para cada uma das alternativas citadas anteriormente.

O programa utilizado é baseado na metodologia de linha de base para as reduções de emissões de gases de efeito estufa (ACM0010) provenientes de sistema de manejo de esterco, com a existência de tratamento anaeróbio dos dejetos.

## **4.1 Manter a situação atual (Queima do Biogás pelo Flare)**

A situação atual apresenta somente a queima do gás pelo flare, sem investimentos com instalações para geração de energia térmica e elétrica.

Utilizando o programa *Biogás: Geração e Uso Energético – Efluentes e Resíduo Rural*, é feita a geração dos resumos de custo e investimento em utilização exclusiva do biogás para aquecimento, e possibilidades de comercialização de créditos de carbono.

A tabela 4.1 apresenta o resumo do investimento necessário para queima do biogás pelo flare.

TABELA 4.1

Resumo de custo e investimentos para a queima do biogás no flare.

**Geração de energia de 2.007 até 2.017 - Período 10 anos**

Purificação - H <sub>2</sub> S / Siloxina (R\$)	0
Purificação - H <sub>2</sub> O/Resfriamento (R\$)	0
Purificação - CO <sub>2</sub> (R\$)	0
Custo de compressão (R\$)	0
Gasoduto da ETAE (R\$)	5.000
Gasômetro (R\$)	82.800
Queimador (R\$)	10.000
Custo do equipamento para uso de gás (R\$)	0
Custo do equipamento para geração elétrica (R\$)	0
Investimento para geração elétrica (R\$)	0,00
Investimento para uso direto de gás (R\$)	97.800,00
Custo da eletricidade (R\$/MW.h)	R\$ 0,00
Custo do uso do gás (R\$/ m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> )	R\$ 0,00

Fonte: CETESB, 2006.

A tabela 4.2 apresenta o potencial de créditos de carbono.

TABELA 4.2

Potencial de créditos de carbono.

**Crédito de Carbono de 2.007 até 2.017 - Período de 10 anos**

Total de CH <sub>4</sub> (t)	1.118,00
Total CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> )	1.668.000,00
Total de tCO <sub>2</sub> eq (t)	23.469,00
Potencial útil (kW)	0
Crédito de carbono pela queima (R\$)*	704.063,00

\* Preço do Crédito de Carbono (R\$/tCO<sub>2</sub>): 30,00

Fonte: CETESB, 2006.

Os custos foram obtidos através de valores de referência do programa.

#### 4.1.1 Determinação do período de *payback* descontado (ou Tempo de retorno de investimento descontado)

Segundo BALARINE (2004), o tempo de retorno do investimento descontado é definido como sendo a medida do tempo requerido para o retorno do investimento inicial de um projeto, através da utilização de uma taxa de desconto que transforma os fluxos de caixa em valores equivalentes a uma data presente ou futura. Para o seu cálculo, é aplicada a seguinte expressão:

$$P = \frac{Fn}{(1+i)^n} \quad (4.1)$$

Onde  $P$  é o valor presente,  $Fn$  é o valor do pagamento do fluxo de caixa no período  $n$ , e  $i$  é a taxa de desconto.

Com base em informações das tabelas anteriores, dados preliminares da granja e informações de mercado de fertilizantes, têm-se:

- a) investimento total: R\$ 97.800,00;
- b) custos anuais de operação e manutenção (cerca de 20 % do valor do investimento): R\$ 19.560,00;
- c) custo anual com energia elétrica: R\$ 66.000,00 (R\$ 5.500,00/mês x 12 meses);
- d) economia anual com uso de biofertilizante:  
Sabendo-se que o custo médio por tonelada de fertilizante é de R\$ 700,00 e que se gasta por plantio cerca de 200 kg por hectare, e que a área de plantio da granja é de 300 ha, tem-se: 300 ha x 200 kg = 60.000 kg/ha = 60 ton/ha = 60 x R\$ 700,00 = R\$ 42.000,00;
- e) receita anual com créditos de carbono (Tabela 5.2): R\$ 70.406,30;

f) Fluxo de Caixa anual antes dos tributos e impostos:  
R\$ 42.000,00 + R\$ 70.406,30 – R\$ 66.000,00- R\$ 19.560,00 = R\$ 26.846,30.  
Este resultado corresponde ao lucro bruto quando desprezadas as deduções.

A tabela 4.3 apresenta o fluxo de caixa para determinação do tempo de retorno descontado da utilização do biogás para queima no flare.

TABELA 4.3

Fluxo de caixa para determinação do *Payback* descontado na situação atual

Ano	Invest. (R\$)	Result. (R\$)	Desc. (R\$)	Saldo (R\$)
0	-97.800,00	-97.800,00	-97.800,00	-97.800,00
1		26.846,30	24.077,40	-73.722,60
2		26.846,30	21.594,08	-52.128,52
3		26.846,30	19.366,89	-32.761,63
4		26.846,30	17.369,41	-15.392,23
5		26.846,30	15.577,94	185,72

Utilizando-se interpolação linear, obtêm-se, o período de *payback* descontado do projeto de 4 anos e 1 mês.

#### 4.1.2 Determinação do Valor Presente Líquido (VPL)

Calculado pela diferença entre o valor presente das entradas e saídas do projeto  $Dt$ , aplicando-se uma taxa de desconto ( $i$ ) ao longo de um tempo  $t$  variando de zero até  $n$ , e calculado através da seguinte expressão:

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{Dt}{(1+i)^t} \quad (4.2)$$

Projetos são viáveis quando apresentam  $VPL > 0$ .

Com base nas informações anteriores, dados preliminares da granja e informações de mercado de fertilizantes, é calculado o valor presente líquido para um período de 10 anos.

$$VPL = \text{R\$ } 57.043,30.$$

Este valor é livre de taxas, impostos, depreciação, etc. Deve-se ressaltar que muitas vezes, desprezar estes dados pode levar a uma avaliação

equivocada. Um projeto pode apresentar um  $VPL < 0$  ao considerar impostos e tributos.

#### 4.1.3 Determinação da Taxa Interna de Retorno (TIR)

A taxa interna de retorno é a taxa de desconto que zera o VPL do projeto. Determinada pela seguinte expressão:

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{Dt}{(1+i)^t} = 0 \quad (4.3)$$

Projetos são viáveis pelo critério da TIR, quando a  $TIR > TMA$  (taxa mínima de atratividade).

Para a alternativa em estudo, tem-se:

$$TIR = 24 \% > 11,5 \%$$

## 4.2 Utilização do Biogás para Aquecimento

O gás utilizado para aquecimento abastecerá dois pavilhões de maternidade e dois pavilhões de creche da granja. Não foram contabilizados investimentos em purificação e compressão do gás, pois este é um processo de queima, que envolve instalação de tubulações (gasoduto) para o transporte do biogás até os locais de uso, não sendo utilizado para o acionamento de motores de combustão interna.

Utilizando o programa *Biogás: Geração e Uso Energético – Efluentes e Resíduo Rural*, é feita a geração dos resumos de custo e investimento em utilização exclusiva do biogás para aquecimento, e possibilidades de comercialização de créditos de carbono.

A tabela 4.4 apresenta o resumo do investimento necessário para utilização de biogás para aquecimento.

TABELA 4.4

Resumo de custo e investimentos para utilização do biogás para aquecimento.

<b>Geração de energia de 2.007 até 2.017 - Período 10 anos</b>	
Purificação - H <sub>2</sub> S / Siloxina (R\$)	0
Purificação - H <sub>2</sub> O/Resfriamento (R\$)	0
Purificação - CO <sub>2</sub> (R\$)	0
Custo de compressão (R\$)	0
Gasoduto da ETAE (R\$)	5.000
Gasômetro (R\$)	82.800
Queimador (R\$)	10.000
Custo do equipamento para uso de gás (R\$)	6.000
Custo do equipamento para geração elétrica (R\$)	0
Investimento para geração elétrica (R\$)	0,00
Investimento para uso direto de gás (R\$)	103.800,00
Custo da eletricidade (R\$/MW.h)	R\$ 0,00
Custo do uso do gás (R\$/ m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> )	R\$ 0,90

Fonte: CETESB, 2006.

A tabela 4.5 apresenta o potencial de créditos de carbono.

TABELA 4.5

Potencial de créditos de carbono.

<b>Crédito de Carbono de 2.007 até 2.017 - Período de 10 anos</b>	
Total de CH <sub>4</sub> (t)	1.118,00
Total CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> )	1.668.000,00
Total de tCO <sub>2</sub> eq (t)	23.469,00
Potencial útil (kW)	0
Crédito de carbono pela queima (R\$)*	704.063,00

\* Preço do Crédito de Carbono (R\$/tCO<sub>2</sub>): 30,00

Fonte: CETESB, 2006.

Os custos foram obtidos através de valores de referência do programa.



#### 4.2.1 Determinação do período de *payback* descontado (ou tempo de retorno de investimento descontado)

Com base em informações das tabelas anteriores, dados preliminares da granja e informações de mercado de fertilizantes, têm-se:

- a) investimento total: R\$ 103.800,00;
- b) custos anuais de operação e manutenção (cerca de 20 % do valor do investimento): R\$ 20.760,00;
- c) custo anual com energia elétrica: R\$ 66.000,00 (R\$ 5.500,00/mês x 12 meses);
- d) economia de energia com produção de calor: R\$ 27.000,00;
- e) economia anual com uso de biofertilizante:

Sabendo-se que o custo médio por tonelada de fertilizante é de R\$ 700,00 e que se gasta por plantio cerca de 200 kg por hectare, e que a área de plantio da granja é de 300 ha, tem-se:  $300 \text{ ha} \times 200 \text{ kg} = 60.000 \text{ kg/ha} = 60 \text{ ton/ha} = 60 \times \text{R\$ } 700,00 = \text{R\$ } 42.000,00$ ;

- f) receita anual com créditos de carbono (Tabela II): R\$ 70.406,30;
- g) Fluxo de Caixa anual antes dos tributos e impostos:  $\text{R\$ } 42.000,00 + \text{R\$ } 70.406,30 + \text{R\$ } 27.000,00 - \text{R\$ } 66.000,00 - \text{R\$ } 20.760,00 = \text{R\$ } 52.646,30$ . Este resultado corresponde ao lucro bruto quando desprezadas as deduções.

A tabela 4.6 apresenta o fluxo de caixa para determinação do tempo de retorno descontado da utilização do biogás para aquecimento.

TABELA 4.6

Fluxo de caixa para determinação do *Payback* descontado na utilização de biogás para aquecimento.

Ano	Invest. (R\$)	Result. (R\$)	Desc. (R\$)	Saldo (R\$)
0	-103.800,00	-103.800,00	-103.800,00	-103.800,00
1		52.646,30	47.216,41	-56.583,59
2		52.646,30	42.346,56	-14.237,03
3		52.646,30	37.978,98	23.741,95

Utilizando-se interpolação linear, obtêm-se, o período de *payback* descontado do projeto de 2 anos 4 meses e 15 dias.

#### 4.2.2 Determinação do Valor Presente Líquido (VPL)

Calculado pela diferença entre o valor presente das entradas e saídas do projeto ( $Dt$ ), aplicando-se uma taxa de desconto ( $i$ ), e calculado através da expressão 4.2.

Com base nas informações anteriores, dados preliminares da granja e informações de mercado de fertilizantes, é calculado o valor presente líquido para:

$$\text{VPL} = \text{R\$ } 199.851,37.$$

Este valor é livre de taxas, impostos, depreciação, etc. Deve-se ressaltar que muitas vezes, desprezar estes dados pode levar a uma avaliação equivocada. Um projeto pode apresentar um  $\text{VPL} < 0$  ao considerar impostos e tributos.

#### 4.2.3 Determinação da Taxa Interna de Retorno (TIR)

A taxa interna de retorno é a taxa de desconto que zera o VPL do projeto. Calculada pela expressão 4.3.

Para a alternativa em estudo, tem-se:

$$\text{TIR} = 50 \% > 11,5 \%$$

### 4.3 Utilização do Biogás para Aquecimento e Geração de Energia Elétrica

Nesta alternativa, foi considerado que a metade da produção mensal de biogás será utilizada para aquecimento, ficando a outra metade para utilização em geração de energia elétrica.

O gás utilizado para aquecimento abastecerá dois pavilhões de maternidade e dois pavilhões de creche da granja.

Foi considerado o potencial uso do biogás para eletricidade no atendimento de metade de seu consumo mensal, que é de 23.000 kWh.

Para a geração de energia elétrica com biogás, foi utilizado um grupo gerador com motor ciclo Otto nacional de 35 kW, com custo de kilowatt instalado de 1.000,00 R\$/kW. Foram feitos também levantamentos de custos de instalações de biodigestores, do queimador, do tratamento e compressão do biogás, sendo que o custo do tratamento é determinado com base em tecnologias de purificação existentes no mercado, vazão e volume de gás e seu custo de purificação. Os custos de compressão são estimados em função da vazão horária do gás e do tipo de equipamento utilizado.

Utilizando o programa *Biogás: Geração e Uso Energético – Efluentes e Resíduo Rural*, é feita a geração dos resumos de custo e investimento em utilização do biogás para geração de energia elétrica e aquecimento, e possibilidades de comercialização de créditos de carbono.

A tabela 4.7 apresenta o resumo do investimento necessário para geração de energia elétrica e aquecimento.

TABELA 4.7

Resumo de custo e investimentos para geração de energia elétrica e aquecimento.

<b>Geração de energia de 2.007 até 2.017 - Período 10 anos</b>	
Purificação - H <sub>2</sub> S / Siloxina (R\$)	16.631
Purificação - H <sub>2</sub> O/Resfriamento (R\$)	16.631
Purificação - CO <sub>2</sub> (R\$)	16.631
Custo de compressão (R\$)	9.493
Gasoduto da ETAE (R\$)	5.000
Gasômetro (R\$)	82.800
Queimador (R\$)	10.000
Custo do equipamento para uso de gás (R\$)	6.000
Custo do equipamento para geração elétrica (R\$)	35.000
Investimento para geração elétrica (R\$)	112.266,00
Investimento para uso direto de gás (R\$)	85.919,00
Custo da eletricidade (R\$/MW.h)	R\$ 36,62
Custo do uso do gás (R\$/ m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> )	R\$ 1,48

Fonte: CETESB, 2006.

A tabela 4.8 apresenta o potencial de créditos de carbono.

TABELA 4.8

Potencial de créditos de carbono.

<b>Crédito de Carbono de 2.007 até 2.017 - Período de 10 anos</b>	
Total de CH <sub>4</sub> (t)	1.118,00
Total CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> )	1.668.000,00
Total de tCO <sub>2</sub> eq (t)	23.469,00
Potencial útil (kW)	35
Crédito de carbono pela queima (R\$)*	704.063,00

\* Preço do Crédito de Carbono (R\$/tCO<sub>2</sub>): 30,00

Fonte: CETESB, 2006.

Os custos foram obtidos através de valores de referência do programa.

#### 4.3.1 Determinação do período de *payback* descontado (ou Tempo de retorno de investimento descontado)

Com base em informações das tabelas mostradas anteriormente, dados iniciais da granja e informações de mercado de fertilizantes, tem-se para o cálculo do tempo de retorno do investimento descontado:

- a) Investimento total: R\$ 198.185,00;
- b) Custos anuais de operação e manutenção (cerca de 20% do valor do investimento): R\$ 39.637,60;
- c) Economia anual com energia elétrica: R\$ 33.000,00 (R\$ 2.750,00/mês x 12 meses);
- d) Fluxo de Caixa anual antes dos tributos e impostos: R\$ 42.000,00 + R\$ 70.406,30 + R\$ 27.000,00 + R\$ 33.000,00 – R\$ 39.637,60 – R\$ 66.000,00 = R\$ 66.766,00. Este resultado corresponde ao lucro bruto quando desprezadas as deduções.

A tabela 4.9 apresenta o fluxo de caixa para determinação do tempo de retorno descontado da geração de energia elétrica e aquecimento.

TABELA 4.9

Fluxo de caixa para determinação do *Payback* descontado  
para geração de energia elétrica e aquecimento.

Ano	Invest. (R\$)	Result. (R\$)	Desc. (R\$)	Saldo (R\$)
0	-198.185,00	-198.185,00	-198.185,00	-198.185,00
1		66.766,00	59.879,82	-138.305,18
2		66.766,00	53.703,88	-84.601,30
3		66.766,00	48.164,91	-36.436,39
4		66.766,00	43.197,23	6.760,83

Utilizando-se interpolação linear, o período de *payback* descontado do projeto é de 3 anos e 15 dias.

#### **4.3.2 Determinação do Valor Presente Líquido (VPL)**

Com base nas informações anteriores e utilizando a expressão 4.2, tem-se que o valor presente líquido encontrado foi de R\$ 196.905,98.

Este valor é livre de taxas, impostos, depreciação, etc. Deve-se ressaltar que muitas vezes, desprezar estes dados pode levar a uma avaliação equivocada. Um projeto pode apresentar um  $VPL < 0$  ao considerar impostos e tributos.

#### **4.3.3 Determinação da Taxa Interna de Retorno (TIR)**

Utilizando a expressão 4.3 para a alternativa em estudo, tem-se:

$$TIR = 32 \% > 11,5 \%$$

### **4.4 Utilização do Biogás na Geração de Energia Elétrica**

Para o estudo de caso da granja, o biogás produzido pode atender todo o consumo mensal de 23.000 kWh, sendo que o valor da potência instalada é de 200 kW, conforme mostrado anteriormente.

Para a geração de energia elétrica com biogás, foi utilizado neste estudo um grupo gerador com motor ciclo Otto nacional, de 70 kW, com custo de kilowatt instalado de 1.000,00 R\$/kW. Foram feitos também levantamentos de custos de instalações de biodigestores, do queimador, do tratamento e compressão do biogás, sendo que o custo do tratamento é determinado com base em tecnologias de purificação existentes no mercado, vazão e volume de gás e seu custo de purificação. Os custos de compressão são estimados em função da vazão horária do gás e do tipo de equipamento utilizado.

Em seguida é feita a geração dos resumos de custo e investimento em geração de energia elétrica e possibilidades de comercialização de créditos de carbono.

A tabela 4.10 apresenta resumo do investimento necessário para a utilização do biogás na geração de energia elétrica.

TABELA 4.10

Resumo de custo e investimentos em geração de energia elétrica.

<b>Geração de energia elétrica de 2.007 até 2.017 - Período 10 anos</b>	
Purificação - H <sub>2</sub> S / Siloxina (R\$)	16.350
Purificação - H <sub>2</sub> O/Resfriamento (R\$)	16.350
Purificação - CO <sub>2</sub> (R\$)	16.350
Custo de compressão (R\$)	9.332
Gasoduto da ETAE (R\$)	0
Gasômetro (R\$)	82.800
Queimador (R\$)	10.000
Custo do equipamento para uso de gás (R\$)	0
Custo do equipamento para geração elétrica (R\$)	70.000
Investimento para geração elétrica (R\$)	221.183,00
Investimento para uso direto de gás (R\$)	0,00
Custo da eletricidade (R\$/MW.h)	R\$ 36,07
Custo do uso do gás (R\$/ m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> )	R\$ 0,00

Fonte: CETESB, 2006.

A tabela 4.11 apresenta o potencial de créditos de carbono.

TABELA 4.11

Potencial de créditos de carbono.

<b>Crédito de Carbono de 2.007 até 2.017 - Período de 10 anos</b>	
Total de CH <sub>4</sub> (t)	1.118,00
Total CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> )	1.668.000,00
Total de tCO <sub>2</sub> eq (t)	23.469,00
Potencial útil (kW)	70
Crédito de carbono pela queima (R\$)*	704.063,00

\* Preço do Crédito de Carbono (R\$/tCO<sub>2</sub>): 30,00

Fonte: CETESB, 2006

Os custos foram obtidos através de valores de referência do programa.

#### 4.4.1 Determinação do período de *payback* descontado (ou Tempo de retorno de investimento descontado)

Com base em informações das tabelas mostradas anteriormente, dados iniciais da granja e informações de mercado de fertilizantes, tem-se para o cálculo do tempo de retorno do investimento descontado:

- a) Investimento total: R\$ 221.183,00;
- b) Custos anuais de operação e manutenção (cerca de 20% do valor do investimento): R\$ 44.236,60;
- c) Economia anual com energia elétrica: R\$ 66.000,00 (R\$ 5.500,00/mês x 12 meses);
- d) Fluxo de Caixa anual antes de tributos e impostos: R\$ 66.000,00 + R\$ 42.000,00 + R\$ 70.406,30 – R\$ 44.236,60 – R\$ 66.000,00 = R\$ 68.170,00. Este resultado corresponde ao lucro bruto quando desprezadas as deduções.

A tabela 4.2 apresenta o fluxo de caixa para determinação do tempo de retorno descontado da utilização do biogás para geração de energia elétrica.

TABELA 4.12

Fluxo de caixa para determinação do *Payback* descontado para geração de energia elétrica.

Ano	Invest. (R\$)	Result. (R\$)	Desc. (R\$)	Saldo (R\$)
0	-221.183,00	-221.183,00	-221.183,00	-221.183,00
1		68.170,00	67.162,56	-154.020,44
2		68.170,00	66.170,01	-87.850,43
3		68.170,00	65.192,13	-22.658,30
4		68.170,00	64.228,70	41.570,40

Utilizando-se interpolação linear, obtém-se o período de *payback* descontado do projeto de 4 anos, 3 meses e 18 dias.

#### 4.4.2 Determinação do Valor Presente Líquido (VPL)

Com base nas informações anteriores e utilizando a expressão 4.2, tem-se que o valor presente líquido encontrado foi de R\$ 172.005,93. Este valor é livre de taxas, impostos, depreciação, etc. Deve-se ressaltar que muitas vezes, desprezar estes dados pode levar a uma avaliação equivocada. Um projeto pode apresentar um  $VPL < 0$  ao considerar impostos e tributos.

#### 4.4.3 Determinação da Taxa Interna de Retorno (TIR)

Aplicando a expressão 4.3 para a alternativa em estudo, tem-se:

$$TIR = 28 \% > 11,5 \%$$

### 4.5 Análise de Risco

BALARINE (2004) descreve que o risco pode ser definido como uma possibilidade de perda. Entretanto, em uma análise de tomada de decisões, deve-se definir claramente as diferenças entre os termos certeza, incerteza e risco.

Certeza é vista como a expectativa de geração de valores únicos nas análises geradas.

Já a incerteza é caracterizada como a expectativa de obtenção de uma variável no qual não se conhece seus valores atuais e sua distribuição de probabilidade.

E finalmente o risco é caracterizado por alternativas onde é conhecida a distribuição de probabilidade de uma variável, porém não se conhece o seu valor presente.

Os cenários analisados neste estudo caracterizam por situações onde se verificam condições de certeza, onde cada componente de cada fluxo de caixa apresentado assume apenas um valor. No entanto, quando se atribuiu



valor monetário ao longo do tempo, não foi definido um período mínimo de retorno do investimento para cada alternativa.

Em situações de análise econômica sob condições de incerteza, os retornos de investimentos podem ser associados a prazos mínimos de realização e os valores do fluxo de caixa tanto podem sofrer variações ao longo do tempo quanto ocorrerem ou não.

O período de retorno de investimento descontado é uma medida de risco do empreendimento, pois quanto maior o prazo de retorno do capital empregado, maior o risco do projeto. Isto se deve ao fato de que as estimativas de retorno diminuem o grau de certeza à medida que se distanciam da data inicial do projeto. Já a análise de sensibilidade é empregada na verificação dos efeitos de variações de valores no fluxo de caixa, que estejam sujeitos a imprevistos.

Sendo assim, para as alternativas de investimento apresentadas, é feita uma análise considerando os seguintes aspectos:

i) O período de retorno dos investimentos, de cada uma das alternativas, conforme mostrado na tabela 4.13.

TABELA 4.13  
Resumo do período de retorno de investimento.

Alternativa	Situação	Aquec.	Aquec / Eletric.	Eletric.
Energética	Atual			
Invest. (R\$)	<b>97.800,00</b>	<b>103.800,00</b>	<b>198.185,00</b>	<b>221.183,00</b>
<i>Payback</i> (anos)	<b>4 a, 1 m</b>	<b>2 a, 4 m, 14 d</b>	<b>3 a, 15 d</b>	<b>4 a, 3 m, 18 d</b>

ii) Redução de 50 % nos componentes dos fluxos de caixa, com exceção do investimento inicial, considerando agora taxas de 14, 16 e 18 % ao ano para o cálculo do VPL em um período de 10 anos:

Havendo uma redução significativa nos negócios, os novos cenários teriam comportamento descrito de acordo com a tabela 4.14.

TABELA 4.14  
Novos cenários das alternativas energéticas.

Alternativa Energética	Situação Atual	Aquec.	Aquec / Eletric.	Eletric.
Invest. inicial (R\$)	<b>97.800,00</b>	<b>103.800,00</b>	<b>198.185,00</b>	<b>221.183,00</b>
Pagamentos (R\$)	<b>13.423,15</b>	<b>26.323,15</b>	<b>33.383,00</b>	<b>34.085,00</b>
VLP a 14% (R\$)	<b>-27.783,30</b>	<b>33.504,39</b>	<b>-24.055,41</b>	<b>-43.391,70</b>
VLP a 16% (R\$)	<b>-32.922,86</b>	<b>23.425,77</b>	<b>-36.837,37</b>	<b>-56.442,44</b>
VLP a 18% (R\$)	<b>-37.475,21</b>	<b>14.498,51</b>	<b>-48.158,92</b>	<b>-68.002,07</b>

## 4.6 Considerações Finais

Através das informações obtidas anteriormente, para as alternativas energéticas de uso do biogás, obtém-se a tabela 4.15 com os principais resultados.

TABELA 4.15  
Resumo de valores das alternativas energéticas.

Alternativa Energética	Situação Atual	Aquec.	Aquec. e Eletric.	Eletric.
Investimento (R\$)	<b>97.800,00</b>	<b>103.800</b>	<b>198.185</b>	<b>221.183</b>
Valor Presente Líquido (R\$)	<b>57.043,30</b>	<b>199.851,79</b>	<b>186.905,98</b>	<b>172.005,93</b>
<i>Payback</i>	<b>4 a, 1 m</b>	<b>2 a, 4m, 14 d</b>	<b>3 a, 15 d</b>	<b>4 a, 3 m, 18 d</b>
Taxa Interna de Retorno (%)	<b>24</b>	<b>50</b>	<b>32</b>	<b>28</b>
Custo Eletricidade (R\$/MWh)	-	-	<b>36,62</b>	<b>36,07</b>
Créditos de Carbono (R\$)	<b>704.063,00</b>	<b>704.063,00</b>	<b>704.063,00</b>	<b>704.063,00</b>

A alternativa de manter a situação atual apresenta o menor valor presente líquido, visto que ela apresenta apenas as economias de uso do biofertilizante gerado e dos créditos de carbono. Em consequência, apresenta a menor taxa interna de retorno do investimento.

A alternativa de utilização exclusiva do biogás para aquecimento apresenta um custo de uso do gás menor que a alternativa de aquecimento e geração de energia em virtude de não computar instalações de purificação e compressão em seu investimento. Seu período de retorno do investimento aplicado é o mais atraente e apresenta o menor risco diante do cenário de retração econômica apresentado sendo, portanto, a melhor alternativa de investimento.

O custo de geração de eletricidade da alternativa de aquecimento e geração de energia foi próximo em relação à alternativa de uso exclusivo para geração de energia elétrica, devido ao fato dos investimentos em equipamentos e instalações serem semelhantes, o que ocasionam também riscos elevados.

Observa-se ainda que, a alternativa referente ao uso exclusivo para geração de energia elétrica apresenta o maior risco devido ao seu alto investimento e ao maior tempo de retorno.

Outro aspecto a considerar nesta análise é que, para todas as alternativas de aproveitamento energético apresentadas, o fator significativo é a possibilidade de comercialização dos créditos de carbono pela queima do biogás. Dependendo do mercado comprador, este valor tende a aumentar, gerando dividendos para o empreendimento.

Outra economia importante mostrada nas alternativas é a utilização do biofertilizante nas pastagens em substituição ao fertilizante industrial. Existe também a possibilidade de comercializar o excedente do adubo orgânico produzido para outras propriedades.

Não foi considerado nas análises o fator de emissão da rede a partir do consumo de eletricidade.

Foram determinados neste capítulo os principais valores econômicos para o aproveitamento energético do biogás considerando as quatro alternativas de conversão energética, seus custos de implantação, os retornos esperados para o período de 10 anos de funcionamento do sistema. Foi feita também uma análise de risco para os cenários analisados e apresentados os seus resultados e discussões. As conclusões finais serão mostradas no próximo capítulo.

# Capítulo 5

## Conclusões

O aproveitamento energético do biogás proveniente de dejetos de suinocultura apresenta impactos benéficos, uma vez que colabora com aspectos de sustentabilidade no meio rural.

Uma vez que as granjas de suínos estruturadas apresentem condições para implantar tal projeto, este irá motivar questões relacionadas ao gerenciamento sanitário, ambiental e financeiro destes empreendimentos. Verifica-se que nestes locais a disponibilidade de biogás é imediata, onde os sistemas de biodigestão para o aproveitamento do gás gerado poderão ser implantados em pouco tempo.

Inclui-se ainda neste contexto a possibilidade de reduzir as emissões de metano na atmosfera, podendo ser convertidas em créditos comercializados no mercado internacional.

De forma geral, a produção e aproveitamento do biogás de suinocultura apresentam as seguintes vantagens:

Vantagens sanitárias na redução na geração de odores provenientes do tratamento adequado dos dejetos, e consequente redução de insetos e moscas transmissores de doenças originadas dos próprios dejetos;

Vantagens técnicas na melhoria da qualidade do biofertilizante produzido pelo processo de biodigestão anaeróbia, podendo ser utilizado em pastagens como excelente adubo orgânico;

Vantagens ambientais na redução das emissões de carbono na atmosfera, uma vez que o metano é queimado para a produção de calor ou energia elétrica;

Vantagens econômicas com a redução, ou eliminação da compra de energia elétrica consumida pela granja, no caso de geração parcial ou total de energia;

Contribuição significativa na redução de custos financeiros do empreendimento, uma vez que este sistema possibilita a queima do metano como moeda ambiental na comercialização dos créditos de carbono.

Além de apresentar-se como uma importante alternativa na questão do gerenciamento de resíduos, o aproveitamento energético do biogás possui um potencial significativo para geração de energia elétrica. Conforme mostrado neste trabalho, a região sudoeste do estado de Goiás apresenta um potencial em torno de 23 GWh/mês de energia possível de ser obtida a partir do biogás produzido em granjas de suínos.

São sugeridos os seguintes aspectos para a continuidade deste tema:

Mapeamento das granjas de suínos da região sudoeste de Goiás, a fim de determinar seus potenciais individuais para a geração de energia a partir do biogás;

Estudo técnico da inserção da geração distribuída de energia elétrica produzida a partir do biogás no sistema de distribuição rural da CELG no sudoeste goiano;

Estudo da regulação e do negócio representado pela inserção da geração distribuída de energia elétrica no sistema de distribuição da CELG, para o cenário do biogás no sudoeste goiano.

Análise da viabilidade real, considerando tributos, depreciação, impostos e outros aspectos.

Os dados deste trabalho permitiram a publicação dos seguintes artigos em congressos técnico-científicos:

1) LIRA et al. (2007). Eficiência Energética e Aproveitamento do Biogás em Granjas de Suínos. Artigo publicado no II Congresso Brasileiro de Eficiência Energética em Vitória/ES, setembro de 2007.

2) LIRA et al. (2008 a). Análise Econômica e Balanço Energético do Biogás em Granja de Suínos – Estudo de caso. Artigo publicado na VIII

Conferência Internacional de Aplicações Industriais em Poços de Caldas/MG, agosto de 2008.

3) LIRA et al. (2008 b). Análise Econômica do Potencial Energético do Biogás em Granja de Suínos – Estudo de caso. Artigo publicado no Congresso Brasileiro de Automática em Juiz de Fora/MG, setembro de 2008.

# Referências Bibliográficas

AGCERT. Disponível em: <[www.agecert.com](http://www.agecert.com)>. Acesso em 18 de junho de 2007.

AGNOESE, A. R., CAMPOS, A. T., PALACIO, S. M., SZYMANSKI, N. Avaliação da Eficiência de um biodigestor Tubular na Redução de Carga Orgânica e Produção de Biogás a partir de Dejetos Suínos. UNIOESTE. Cascavel/PR, 2006a.

AGNOESE, A. R., CAMPOS, A. T., PALACIO, S. M., SZYMANSKI, N. Uso de Energia em Unidade Suinícola em Sistema de Terminação com Tratamento de Resíduos. UNIOESTE. Cascavel/PR, 2006b.

ALMEIDA, F. A., MELO, R. J. S., VIDIGAL, R. C., PEREIRA, E. M. D. Eficientização Energética da Fazenda Exp. PUC - Minas - Biodigestor de Baixo Custo. PUC/MG. Belo Horizonte/MG, 2002.

ALVES, S. M.; MELO, C. F. M.; WISNIEWSKI, A. Biogás: uma alternativa de energia no meio rural. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1980. 23p.

BALARINE, O. F. O. Tópicos de Matemática Financeira e Engenharia Econômica, 2ª. Ed. EDIPUCRS, Porto Alegre/RS, 2004.

BEZERRA, S. A. Gestão Ambiental na Propriedade Suinícola: Um Modelo Baseado em um Biosistema Integrado. Dissertação de Mestrado. UFSC, Florianópolis/SC, 2002.

BRASIL, Ministério das Minas e Energia – MME (2006). *Balanço Energético Nacional*. Disponível em: <[www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br)>. Acesso em 17 de janeiro de 2007.

CAMPOS, A. T., CAMPOS, A. T., SANTOS, E. P., CASIMIRO, E. L. N., NAGAE, R. Y., FILHO, W. W., DAGA, J. Análise Energética de Biodigestores Tubulares Usando Dejetos de Suínos. UNIOESTE, Cascavel/PR, 2003.

CAMPOS, C. M. M. Avaliação do Potencial de Produção de Biogás e da Eficiência de Tratamento do Reator do Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) Alimentado com Dejetos de Suínos. Ciências Agrotec. Lavras/MG, V.29, n.4. p. 484-856, 2005.

CASAGRANDE, L. F. Avaliação Descritiva de Desempenho e Sustentabilidade entre uma Granja Suinícola Convencional e outra Adotada de biosistema Integrado (BSI). Dissertação de mestrado. UFSC. Florianópolis/SC, 2003.

CAPSTONE. Disponível em: <[www.energysolutionscenter.org/.../Capstone.htm](http://www.energysolutionscenter.org/.../Capstone.htm)>, <[www.capstone.com](http://www.capstone.com)>. Acesso em 20 de junho de 2007.

CETESB. BIOGÁS: Geração e Uso Energético – Efluentes e Resíduo Rural, Versão 1.0. CETESB, São Paulo/SP, 2006. Software disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/biogas/default.asp>>. Acesso em 07 de junho de 2007.

COLDEBELLA, A. Viabilidade do Uso de Biogás da Bovinocultura e Suinocultura para Geração de Energia Elétrica e Irrigação em Propriedades Rurais. Dissertação de mestrado. UNIOESTE, Cascavel/PR, 2006.

COSTA, D. F. Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás de Tratamento de Esgoto. Dissertação de mestrado. USP. São Paulo/SP, 2006.



DEGANUTTI, R., PALHACI, M. C. J. P., ROSSI, M., TAVARES, R., SANTOS, C. Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada. FAAC/UNESP. São Paulo/SP, 2006.

FÁVERO, J. A. Produção Suínos. Embrapa Suínos e Aves. Jun.2003.

FRARE, L. M., GIMENES, M. L., PEREIRA, N. C. Correlações para Estimativas de Custos na Remoção de Ácido Sulfídrico de Biogás. Acta Sci. Technol. , v. 28, n. 1, p. 29-37, Maringá/PR Jan./Jun., 2006.

GAMA, M. L. S. Planejamento e Gestão de tratamento de Dejetos de Suínos no DF. Aplicação de Instrumentos de Avaliação Multicriterial. Dissertação de Mestrado. UCB. Brasília/DF, 2003.

GASPAR, R. M. B. L. Utilização de Biodigestores em Pequenas e Médias Propriedades Rurais com Ênfase na Agregação de Valor: Um Estudo de Caso na Região de Toledo/PR. Dissertação de Mestrado. UFSC. Florianópolis/SC, 2003.

GUARDABASSI, P. M. Sustentabilidade da Biomassa como Fonte de Energia: Perspectivas para Países em Desenvolvimento.123p. Dissertação de mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo, 2006.

GOMIDE, R. Desempenho do Conjunto Motogerador Adaptado a Biogás. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras, 2006.

KUNZ, A., GIROTTO, A. F., MONTICELLI, C. J., KICH, J. D., FÁVERO, J. A., LUDKE, J. V., MORES, N., ABREU, P. G., SILVEIRA, P. R. S. Proteção Ambiental. Embrapa Suínos e Aves. Sistemas de Produção 2. Versão eletrônica. Janeiro/2003. Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/Fonte\\_sHTML/Suinos/SPSuinos/protecao.html](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/Fonte_sHTML/Suinos/SPSuinos/protecao.html)>. Acesso em 15 de junho de 2007.

KUNZ, A. Experiência da Embrapa com Biodigestão Anaeróbia de Dejetos de Suínos – I. Embrapa Suínos e Aves. Brasília/DF, 2006.

KONZEN, E. A . Biodigestores para Tratamento de Dejetos de Suínos – VI . Embrapa Suínos e Aves. Brasília/DF, 2006.

LIRA, J. C. U., NOGUEIRA JR., J. A., MARRA, E.G., NERYS, J.W.L., MATIAS, L. Eficiência Energética e Aproveitamento do Biogás em Granjas de Suínos. Artigo publicado no II Congresso Brasileiro de Eficiência Energética em Vitória/ES, set. 2007.

LIRA, J. C. U., DOMINGUES, E.G., MARRA, E. G. Análise Econômica e Balanço Energético do Biogás em Granja de Suínos – Estudo de caso. Artigo publicado na VIII Conferência Internacional de Aplicações Industriais em Poços de Caldas/MG, ago. 2008a.

LIRA, J. C. U., DOMINGUES, E. G., MARRA, E. G. Análise Econômica do Potencial Energético do Biogás em Granja de Suínos – Estudo de caso. Artigo publicado no Congresso Brasileiro de Automática em Juiz de Fora/MG, set. 2008b.

LUCAS JR, J., SANTOS, T. M. B. Balanço Energético em Galpão de Frangos de Corte. Parte de Tese de Doutorado defendida pelo autor, v24, p. 25-36, Eng. Agrícola Jaboticabal/SP, jan./abr. 2004.

MAGALHÃES, E. A., SOUZA, S. M. N., AFONSO, A. D. L., RICIERI, R. P. Confecção e Avaliação de um Sistema de Remoção de CO<sub>2</sub> Contido no Biogás. Acta Sci. Technol., v. 26, no. 1, p. 11-19. Cascavel/PR, 2004.

MACINTYRE, A. J. Instalações Hidráulicas, Prediais e Industriais – Capítulo 18, 3ª. Ed. , LTC livros Técnicos e Científicos Ltda, Rio de Janeiro/RJ, 1996.

MEISTER, R. Estudo de Modelo em Escala Piloto de Reator UASB. Universidade Católica do Paraná. Curitiba, jun. 2005.

MENDES, L. G. G. Proposta de um Sistema para Aproveitamento Energético de um Aterro Sanitário Regional da Cidade de Guaratinguetá. UNESP, Guaratinguetá/SP, 2005.

MMA - Ministério do meio Ambiente. Geração e Utilização de Biogás em Unidades de Produção de Suínos. Publicação nº 115. Brasília/DF, 2006.

NOGUEIRA JR., J. A. Relação de fotos tiradas da construção e operação do sistema de biodigestão anaeróbia da Granja Monte Alegre. Rio Verde/GO, 2004/2005.

NORDHAUS, WILLIAM. A Question of Balance - Weighing the Options on Global Warming Policies. Yale University Press New Haven & London. 2008. Disponível em: <[http://nordhaus.econ.yale.edu/Balance\\_2nd\\_proofs.pdf](http://nordhaus.econ.yale.edu/Balance_2nd_proofs.pdf)>. Acesso em 29 de abril de 2009.

NUNES, R. C., KRONKA, R. N., SALES, C. P., MESQUIRA, A. J., NUNES, V. Q. Retirada dos Suplementos Micromineral e/ou vitamínico da Ração de Suínos.

Desempenho, Níveis de Minerais nos metacarpos e Custo de Ração. Escola de Veterinária da Universidade Federal de Goiás, 2005.

OLIVA, C. A., SOUZA, J., SOUZA, S. M. N., SORDI, A. Potencial de Conservação de Energia nos Processos de Produção em uma Propriedade Rural. UNIOESTE, Cascavel/PR, 2001.

OLIVEIRA, R. M. Dossiê Técnico – Biossistemas Integrados na Suinocultura. Publicação do Instituto de Tecnologia do Paraná. Curitiba, jan. 2007.

PERGHER, G. D. Purificação do Biogás – II . Embrapa Suínos e Aves. Brasília/DF, 2006.

RANZI, T. J. D., ANDRADE, M. A. M. Estudo de Viabilidade de Transformação de Esterqueiras para Dejetos de Suínos em Biodigestores Rurais visando o Aproveitamento do Biofertilizante e do Biogás. UFSC, Florianópolis/SC, 2002.

ROPPIA, L. Atualização sobre os níveis de Colesterol, Gordura e Calorias da Carne Suína. Escola de Medicina Veterinária, USP, 2000.

SAMPAIO, C. A. P. Caracterização dos Ambientes Térmico, Aéreo e Acústico em Sistemas de Produção de Suínos, nas Fases de Creche e Terminação. Tese Doutorado. UNICAMP. Campinas/SP, 2004.

SERAFIM, A. C., GUSSAKOV, K. C., SILVA, F., CONEGLIAN, C. M. R., BRITO, N. N., SOBRINHO, G. D., TONSO, S., PELEGRINI, R. Chorume, Impactos Ambientais e Possibilidades de tratamento. Centro Superior de Educação Tecnológica (CESET) – UNICAMP. Limeira/SP, 2003

SOUZA, S. M. N., PERERA, W. C., NOGUEIRA, C. E. C., PAVAN, A. A., SORDI, A. Custo da Eletricidade Gerada em Conjunto Moto Gerador Utilizando Biogás da Suinocultura. *Acta Sci. Technol.*, v.26, no. 2, p.127-133, Maringá/PR, 2004.

TAKITANE, I. C. e SOUZA, M. C. M. Produção de Suínos no Brasil: Impactos Ambientais e Sustentabilidade. *Anais do XXXVIII Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural – X Congresso Mundial de Sociologia Rural*. São Paulo/SP, 2000

TECPAR – Instituto de Tecnologia do Paraná . Manual de Biossistemas Integrados na Suinocultura, p. 140. Centro de Integração de Tecnologia do Paraná. Curitiba/PR, 2002.

TOBIAS, A. C. T. Tratamentos de Resíduos da Suinocultura: Uso de reatores Anaeróbios Seqüenciais Seguido de leitos Cultivados. Dissertação de mestrado. Unicamp, Campinas/SP, 2002.

TRIGAS. Trigas Indústria e Comércio Ltda. Disponível em: <[www.trigas.com.br](http://www.trigas.com.br)>. Acesso em 11 de abril de 2005.

USCCTP - U.S. Climate Change Technology Program. Synthesis Assessment of Long-Term Climate Change Technology Scenarios, 2005.

WINTER, R., BRAUN, M. B. S., LIMA, J. F. Notas Sobre o Impacto na Produção de Suínos na Bacia do Rio Toledo – Paraná. UNIOESTE. Ribeirão Preto/SP, 2005