

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

ALINE KOTZ  
MÔNICA SCHMITZ  
SABRINA MATIELLO

**ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS SUÍNOS:  
AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO METANO E A GERAÇÃO DE  
CRÉDITOS DE CARBONO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA – PR  
2011

ALINE KOTZ  
MÔNICA SCHMITZ  
SABRINA MATIELLO

**ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS SUÍNOS:  
AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO METANO E A GERAÇÃO DE  
CRÉDITOS DE CARBONO**

Trabalho de Conclusão do Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Dr. Laercio Mantovani Frare.

MEDIANEIRA – PR  
2011



Ministério da Educação

Universidade Tecnológica Federal do Paraná



**CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL**

---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS SUÍNOS: AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO METANO E A GERAÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO**

por

**ALINE KOTZ  
MÔNICA SCHMITZ  
SABRINA MATIELLO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 20h20min do dia 27 de Junho de 2011 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo no Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. As acadêmicas foram argüidas pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Laercio Mantovani Frare  
Orientador

---

Prof. Dr. Eduardo Eyng  
Banca

---

Prof. Dr. Rafael Arioli  
Banca

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente a nossos familiares que nos apoiaram nessa jornada.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, que proporcionou mais esta conquista em nossas vidas.

Reverenciamos o Professor orientador Dr. Laercio Mantovani Frare, pelo comprometimento, dedicação e orientação desse trabalho.

Aos professores Eduardo Eyng e Rafael Arioli que fizeram parte da banca examinadora.

Aos professores da Universidade, pelos quais temos grande estima e admiração, pela paciência e principalmente pelo conhecimento que nos transmitiram, colaborando desta forma para nossa formação acadêmica.

O Nosso reconhecimento e gratidão a Família Staub e Shuster, pela paciência, pela oportunidade e pelo espaço cedido ao nosso estudo.

A toda equipe da EMATER - Missal, pelas informações e instruções concedidas.

Em especial agradecemos à Pedro e Sandro Doloso, Devair e Devanir André Fappi pelas sugestões dadas na elaboração do presente trabalho.

E a todos que direta e indiretamente auxiliaram na construção desse projeto.

**"Não é o desafio com o qual nos deparamos que determina quem somos ou o que estamos nos tornando, mas a maneira como respondemos ao desafio. Lutas para vencer, liberdade para provar. E, enquanto acreditamos no nosso sonho, nada é por acaso."**

**"Henfil"**

## RESUMO

**KOTZ, A.; MATIELLO, S.;SCHMITZ, M. Estimativa da produção de biogás a partir de dejetos suínos: avaliação da eficiência energética do metano e a geração de créditos de carbono. 2011. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Medianeira, 2011.**

A suinocultura é uma das principais atividades desenvolvidas no oeste do Estado do Paraná, sendo considerada como uma fonte potencialmente poluidora devido aos riscos ambientais ocasionados pelos dejetos. A decomposição anaeróbia desses resíduos produz o biogás que é composto, principalmente, por gases como o dióxido de carbono e metano. Considerando os benefícios da geração do biogás devido ao elevado potencial energético do metano nele presente, este projeto teve por finalidade a realização de um estudo sistemático para avaliar a geração de energia e créditos de carbono em uma pequena propriedade rural. As metodologias utilizadas na realização deste trabalho incluíram a pesquisa bibliográfica, a medição da vazão do biogás por meio de um bolhômetro, a análise da composição do biogás e o uso de modelos matemáticos de estimativas. Os resultados obtidos demonstraram que, para a propriedade rural estudada, o uso de biogás para a produção de energia elétrica é inviável devido aos altos custos de implantação e operação do sistema. Da mesma forma, a quantidade de créditos carbono mostrou-se insuficiente para ser atrativa economicamente. Entretanto, não se deve menosprezar as vantagens do processo de tratamento de dejetos para o meio ambiente.

**Palavras-chave:** Suinocultura, Biogás, Metano, Créditos de carbono, Modelos matemáticos.

## ABSTRACT

KOTZ, A.; MATIELLO, S.;SCHMITZ, M. Estimation of biogas production from swine manure: an evaluation of the efficiency of methane generation and carbon credits. 2011. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Medianeira, 2011.

The swine production is one of the main activities developed in the West of Paraná was considered as a potentially polluting due to environmental hazards caused by manure. The decomposition of waste produces biogas which is composed mainly of gases like carbon dioxide and methane. Considering the benefits of the biogas generation due to high energy potential of methane present in it, this project was the purpose of to carry out a systematic studies to evaluate the power generation and carbon credits in a small rural property. The methodologies used in this study included literature review, measuring the flow of biogas through a gas meter, analyzing the composition of biogas and the use of mathematical models of estimates. The results showed that to the farm studied, the use of biogas for electricity production is not viable due to the high costs of implementation and operation of the system. The same way, the amount of carbon credits was insufficient to be economically attractive. But, one should not underestimate the benefits of the treatment process of waste to the environment.

**Keywords:** Swine production, biogas, methane, carbon credit, mathematical models.

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1-</b>	INTERAÇÃO ENTRE OS DEJETOS DE ANIMAIS E AS DOENÇAS INFECCIOSAS NOS HOMENS E ANIMAIS.....	20
<b>FIGURA 2 -</b>	AUMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE METANO (CH <sub>4</sub> ) NA ATMOSFERA DE 1750 A 1998.....	23
<b>FIGURA 3 -</b>	FONTES DE EMISSÕES MUNDIAIS DE METANO.....	23
<b>FIGURA 4 -</b>	ETAPAS DA DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	26
<b>FIGURA 5 -</b>	ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DO BIOGÁS PROVENIENTE DE SUÍNOS NOS MUNICÍPIOS DA REGIÃO SUL DO PAÍS.....	28
<b>FIGURA 6 -</b>	ETAPAS DO CICLO DE APROVAÇÃO DO PROJETO DE MDL.	34
<b>FIGURA 7 -</b>	IMAGEM DE SATÉLITE DO LOCAL DE ESTUDO.....	37
<b>FIGURA 8 -</b>	ILUSTRAÇÃO DO PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO MEDIDOR.....	38
<b>FIGURA 9 -</b>	MEDIDOR CONSTRUÍDO PARA DETERMINAR A VAZÃO DE BIOGÁS.....	39
<b>FIGURA 10 -</b>	COLETA DA AMOSTRA DE BIOGÁS.....	41
<b>FIGURA 11 -</b>	COMPONENTES DO KIT PARA DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS.....	42
<b>FIGURA 12 -</b>	ESTERQUEIRA A CÉU ABERTO.....	49
<b>FIGURA 13 -</b>	METODOLOGIA UTILIZADA NA COLAGEM DO VENTIL.....	50
<b>FIGURA 14 -</b>	ESTERQUEIRA DEPOIS DE COBERTA.....	51
<b>FIGURA 15 -</b>	BIODIGESTOR UTILIZADO PARA A REALIZAÇÃO DA DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO E DO BIOGÁS PRODUZIDO.....	52
<b>FIGURA 16 -</b>	COMPARAÇÃO DA VAZÃO DE BIOGÁS OBTIDA EXPERIMENTALMENTE COM MODELOS TEÓRICOS.....	56
<b>FIGURA 17-</b>	CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA PRODUZIDA, POR KWH, EM FUNÇÃO DO TEMPO DE AMORTIZAÇÃO.....	58
<b>FIGURA 18-</b>	CUSTO DO BIOGÁS EM FUNÇÃO DO TEMPO DE AMORTIZAÇÃO.....	59
<b>FIGURA 19-</b>	TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO EM FUNÇÃO DO CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA PRODUZIDA.....	59



## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1-</b>	VAZÃO DE BIOGÁS PRODUZIDO NO BIODIGESTOR.....	52
<b>TABELA 2-</b>	COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS ANALISADO POR CROMATOGRAFIA.....	54
<b>TABELA 3-</b>	COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS ANALISADO COM O USO DO KIT BIOGÁS .....	54
<b>TABELA 4-</b>	CÁLCULO DO VALOR DE SÓLIDOS VOLÁTEIS.....	55
<b>TABELA 5-</b>	ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO ANUAL DE BIOGÁS PELO MODELO IPCC.....	56
<b>TABELA 6-</b>	DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS UTILIZADAS NO CÁLCULO DOS CUSTOS DA ENERGIA ELÉTRICA GERADA POR BIOGÁS.....	57
<b>TABELA 7-</b>	DEFINIÇÃO DA VARIÁVEIS UTILIZADAS NA ESTIMATIVA DE CRÉDITOS DE CARBONO.....	60

## LISTA DE SIGLAS

atm.	Pressão Atmosférica
BM&F	Bolsa de Mercadoria & Futuros
CIMGC	Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima
CMMAD	Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e o Desenvolvimento
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CQNUMC	Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
SEMA	Secretária do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DCP	Documento de Concepção de Projeto
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária
EOD	Entidade Operacional Designada
GEE's	Gases de Efeito Estufa.
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
PEAD	Polietileno de Alta Densidade.
pH	potencial Hidrogeônico
RCEs	Reduções certificadas de emissões
EMATER	Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>17</b>
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA SUINOCULTURA BRASILEIRA .....	17
3.2. DEJETOS SUÍNOS E IMPACTOS AMBIENTAIS .....	19
3.3. EMISSÕES DE METANO .....	22
3.4. O BIOGÁS.....	24
3.4.1. Utilizações do Biogás .....	27
3.6. CRÉDITOS DE CARBONO E PROJETOS MDL.....	32
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>37</b>
4.1. LOCAL DE ESTUDO.....	37
4.2. MEDIÇÃO DA VAZÃO DE BIOGÁS PRODUZIDO .....	37
4.2.1. Construção e Operação do Medidor de Biogás.....	37
4.2.2. Cálculo da Vazão de Biogás .....	40
4.3.1. Coleta da Amostra de Biogás para Análise .....	41
4.3.2. Determinação da Composição do Biogás por Kit Analisador .....	41
4.3.3 Determinação da Composição do Biogás por Cromatografia Gasosa .....	42
4.4. ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO TEÓRICA DE BIOGÁS .....	43
4.4.1. Modelo CENBIO .....	43
4.4.2. Modelo IPCC .....	43
4.5. ESTIMATIVA DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	47
4.6. ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE CRÉDITOS CARBONO.....	47
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>49</b>
5.1. SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE BIOGÁS DE BIODIGESTORES.....	49
5.1.1. Medição da Produção de Biogás em Tanque Aberto .....	49
5.1.2. Medição da Produção de Biogás em Biodigestores .....	51
5.2. RESULTADO DA MEDIÇÃO DA VAZÃO DE BIOGÁS .....	52
5.3. COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS OBTIDA POR ANÁLISE .....	53
5.4.1. Resultados da Produção pelo Modelo CENBIO .....	55
5.4.2. Resultados da Produção de biogás pelo Modelo IPCC.....	55
5.5. AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO ESTIMADA E REAL DE BIOGÁS.....	56
5.6. RESULTADOS DAS ESTIMATIVAS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA POR CO- GERAÇÃO .....	57
5.7. RESULTADOS DAS ESTIMATIVAS DE CRÉDITOS CARBONO.....	60
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	<b>62</b>
<b>7. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>64</b>
<b>8. ANEXOS</b> .....	<b>69</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O meio ambiente tornou-se um assunto polêmico atualmente devido à exploração excessiva de recursos naturais não renováveis. É cada vez mais comum a busca por alternativas que conciliem o desenvolvimento econômico e redução dos impactos ambientais. Alguns fenômenos acontecem naturalmente, como é o caso do efeito estufa. Os gases permitem que a atmosfera funcione como uma estufa natural, deixando a radiação proveniente do sol entrar e manter a temperatura do planeta (PECORA, 2006). No entanto, atividades humanas têm provocado um aumento desordenado na concentração atmosférica desses gases, ocasionando mudanças climáticas (CENAMO, 2005). A economia brasileira tem forte dependência de recursos naturais não-renováveis, ou seja, é potencialmente vulnerável a mudanças climáticas. A atual matriz energética do Brasil afeta negativamente o cenário crítico do aquecimento global, tendo em vista que a queima de petróleo e seus derivados emitem grandes quantidades de poluentes para atmosfera (ICLEI, 2009). Neste contexto, a produção de energia de maneira renovável é uma medida interessante sob o ponto de vista ambiental no que se refere à poluição global, uma vez que permite a obtenção de energia sem recorrer à queima de combustíveis fósseis e a consequente emissão de resíduos poluentes na atmosfera (PECORA, 2006).

Entre as fontes de energia renovável tem-se o biogás, que é produzido em função do tratamento dos dejetos produzidos na suinocultura. O metano proveniente da decomposição anaeróbia é 21 vezes mais poluidor que o dióxido de carbono (AMARAL, 2004). Sendo assim é necessário encontrar uma forma de evitar o lançamento do biogás diretamente na atmosfera. Uma das formas propostas atualmente é utilizá-lo em cogeneradores para produção de energia elétrica. As vantagens da utilização do biogás quando convertido em energia elétrica estão relacionadas às emissões evitadas, utilizando uma fonte renovável e a eficiência dos sistemas de conversão (PECORA, 2006). A utilização do biogás como fonte de energia fomenta a redução das emissões do metano, o que contribui no aspecto ambiental, econômico e social, pois, pode-se reduzir os custos na propriedade. Uma alternativa é utilizá-lo como insumo juntamente com o biofertilizante gerado e ainda o aproveitamento desse recurso para a comercialização de créditos de carbono. O

Protocolo de Kyoto, elaborado para estabelecer metas de redução de gases de efeito estufa, possibilitou a inserção da suinocultura no cenário de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), pois pode ser enquadrada em um projeto de redução de emissões gasosas nocivas ao meio ambiente (BARANCELLI, 2007). Dessa forma, é imprescindível o desenvolvimento de projetos que evitem as emissões de metano para a atmosfera para mitigar as mudanças do clima (ICLEI, 2009).

Dentro deste contexto, o objetivo desse trabalho é estudar o potencial energético do biogás, propondo alternativas mais sustentáveis para a qualidade ambiental de uma pequena propriedade rural localizada na microbacia do Rio São João, no município de Missal - Paraná.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Estimar a produção de biogás em uma propriedade rural localizada na microbacia do Rio São João, no Município de Missal, Estado do Paraná e avaliar sua eficiência para geração de energia de acordo com a emissão de gases.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Conferir os impactos da suinocultura para o meio ambiente;
- Medir a produção de biogás em uma propriedade suinícola.
- Estimar através da adaptação de um modelo matemático, a produção de metano, a partir de dejetos suínos na propriedade rural da microbacia;
- Analisar o potencial energético do biogás;
- Avaliar o potencial de redução da emissão de gases produzidos pelos dejetos;
- Estimar o rendimento da venda de créditos de carbono.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DA SUINOCULTURA BRASILEIRA

A partir dos anos 70 a suinocultura brasileira deixou de ser uma atividade de fundo de quintal e transformou-se numa moderna cadeia produtiva. A primeira transformação foi o resultado da consolidação do sistema de produção em regime de integração que se instalou, primordialmente no sul do país, e daí se estendeu para outras áreas, grandes produtoras de cereais, como o centro-oeste brasileiro (SINOTTI, 2005).

A suinocultura é uma das atividades agropecuárias mais antigas do mundo. Ela está presente na maioria das propriedades rurais brasileiras e emprega basicamente mão-de-obra familiar e promove a geração de uma fonte de renda, garantindo qualidade de vida e reduzindo o êxodo rural. Nos primórdios a suinocultura era realizada apenas para manutenção alimentar, com os avanços tecnológicos (melhoramento genético e nutrição) passou a ser produzidas em diversas áreas para comercialização (GARCIA, 2004).

O desenvolvimento dessa atividade constitui-se de um fator imprescindível para o desenvolvimento econômico nacional. Além de envolver um grande número de produtores e gerar muitos empregos diretos e indiretos, tem capacidade de produzir grande quantidade de proteína de alta qualidade em reduzido espaço físico e curto espaço de tempo (OLIVEIRA, 1993).

No Brasil o comércio internacional de carne suína ocupa a quarta posição com 3% da produção e 11% das exportações. Movimentando 5,4 milhões de toneladas e gera uma receita anual aproximada de U\$\$ 11,9 bilhões (ABIPECS, 2009).

A população suína no globo terrestre é de, aproximadamente, um bilhão de cabeças. O Brasil possui condições para aumentar o plantel de suínos, com o clima tropical, mão-de-obra de baixo custo, facilidade para manejo e tratamento de dejetos, pelas grandes dimensões territoriais e topografia. Desta forma a tendência hoje é de se instalar suinoculturas industriais na região Centro-Oeste (AIPECS, 2009). Os principais estados produtores de suínos no Brasil são Rio Grande do Sul,

Santa Catarina e Paraná (MARQUEZ, et al, 2009). O Paraná possui rebanho estimado em 3,9 milhões de cabeças e o Município de Missal apresentava-se em 2006 com um rebanho de 23.330 suínos (IPARDES, 2009).

A produtividade é em nosso país bastante variável, dependendo da região e do tipo de produção. Praticada com maior intensidade nos estados da Região Sul com 49,7%, onde predominam relevos acidentados que desfavorecem o plantio de culturas que poderiam absorver os dejetos produzidos pela atividade. Esta característica topográfica favorece o aporte dos resíduos nos corpos d' água superficiais através da erosão e lixiviação do solo (HIGARASHI et al, 2004). Há indicações de que as normas ambientais para o tratamento dos dejetos suínos no Brasil tendem a ser menos restritivas que em outros países e a preocupação ambiental no processo produtivo, como estratégia de comércio, ainda é pouco valorizada (LOBO; PEREIRA, 2009).

A legislação ambiental para a suinocultura no Paraná é determinada pela Resolução IAP/SEMA nº. 031/1998. Segundo o sistema e o porte da atividade suinícola, podem ser exigidas licenças prévias, de instalação e de operação. De acordo com a Resolução citada, a complexidade das exigências aumenta com o porte da criação. Isso envolve desde o volume de dejetos produzidos pela atividade, tamanho e adequação das instalações, a distância das instalações e do sistema de armazenamento em relação às nascentes de água, divisas da propriedade, estradas externas à propriedade, localização de rios ou drenagem natural mais próxima, número de instalações e características das instalações (BRASIL, 1998).

Segundo a resolução mencionada, devido o seu alto grau de poluição, os dejetos gerados em suinocultura deverão obrigatoriamente sofrer tratamento preliminar e posteriormente seguir para tratamento secundário ou para aplicação no solo para fins agrícolas. O tratamento preliminar poder ser feito em sistemas de armazenamento ou em sistemas físicos, que são destinados a separação das fases, como decantação, peneiramento, centrifugação. Já o tratamento secundário é constituído de sistemas biológicos, destinados a estabilização da matéria orgânica, como compostagem, lagoas de estabilização, digestores e biodigestores.



### 3.2. DEJETOS SUÍNOS E IMPACTOS AMBIENTAIS

Segundo o art. 48 do Decreto nº 88.351 da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, considera-se impacto ambiental:

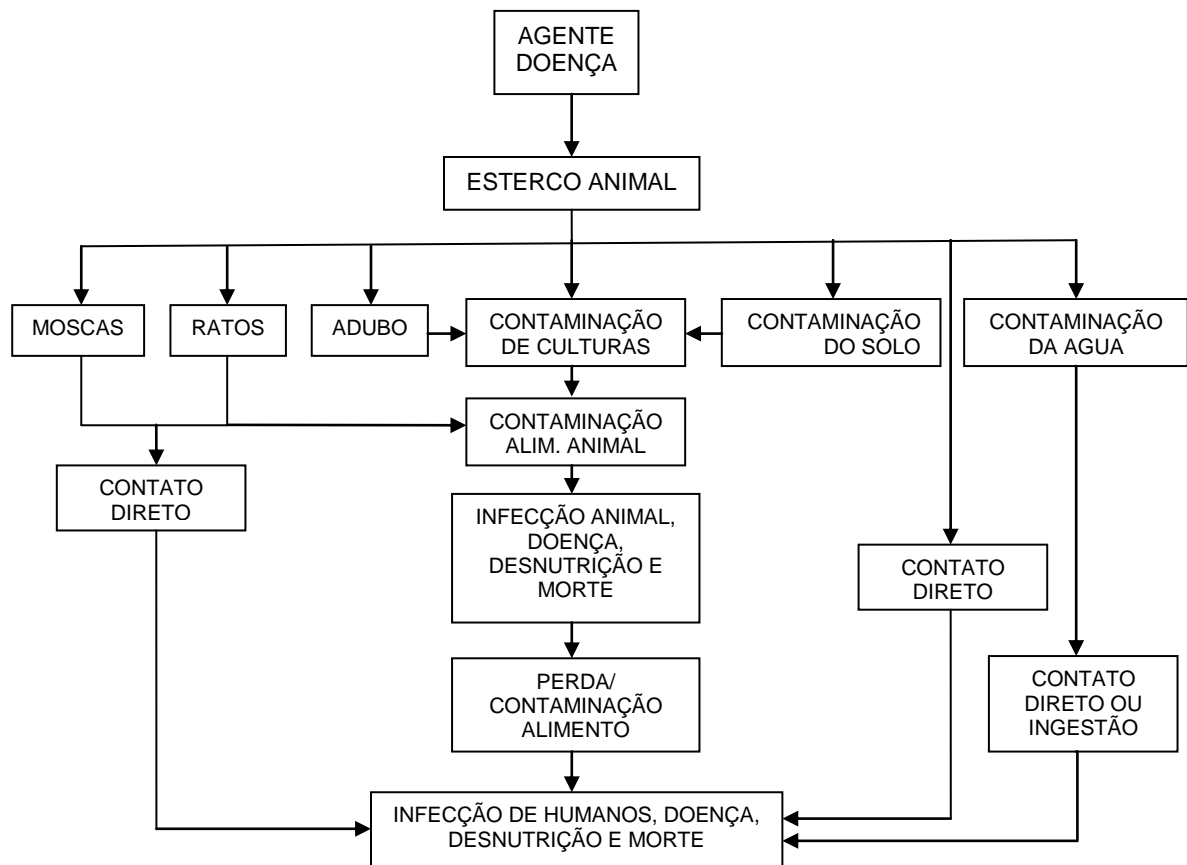
[...] qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986, p.1).

O desenvolvimento da suinocultura intensiva trouxe a produção de grandes quantidades de dejetos, que são lançados ao solo, na maioria das vezes, sem critério e sem tratamento prévio, transformando-se em uma grande fonte poluidora (PRA, et al, 2005). Schultz (2007) ressalta que a geração desses resíduos correspondem a quatro vezes o equivalente populacional humano e se não forem corretamente tratados, tornam-se um poderoso agravante ambiental, por possuírem altas concentrações de sólidos, matéria orgânica, nutrientes, substâncias patogênicas, cor e odor. Geralmente ficam dispostos em esterqueiras que são depósitos que tem por objetivo captar o volume de dejetos líquidos produzidos num sistema de criação, durante um determinado período de tempo para que ocorra a fermentação anaeróbica da matéria orgânica. A carga de abastecimento é diária, permanecendo o material em fermentação até a retirada (DIESEL et al, 2002). Um dos motivos da poluição é o lançamento direto sem o devido tratamento nos cursos de água, acarretando desequilíbrios ecológicos e redução do teor de oxigênio dissolvido na água, disseminação de patógenos e contaminação das águas potáveis com amônia, nitratos e outros elementos tóxicos (DIESEL et al, 2002).

O nitrogênio (N) e o fósforo (P) são considerados como os principais problemas de poluição dos recursos hídricos. Além dos macronutrientes essenciais, os dejetos de suínos, devido à suplementação mineral oferecida aos animais, contém micronutrientes como o Zn, Mn, Cu e Fe que, em doses elevadas, também, podem ser tóxicos às plantas (PERDOMO et al, 2001) .

Os dejetos suínos possuem, em média, 25% de Fósforo, 0,60% de Nitrogênio total e 0,12% de potássio. Os maus odores podem gerar certo desconforto devido à presença de gases nocivos como: amônia, sulfeto de hidrogênio, dióxido de carbono e metano. Estes são resultantes da decomposição biológica da matéria orgânica do esterco (OLIVEIRA, 1993).

Além disso, podem conduzir à poluição do ar e ao aparecimento de enfermidades no homem e no animal. Outro problema que pode ser enfatizado é o lançamento de gases que contribuem para aumento do efeito estufa, oriundos, principalmente, dos processos anaeróbios dos sistemas de armazenamento ou tratamento dos dejetos (SINOTTI, 2005). A Figura 1 ilustra a interação entre a produção de dejetos e a proliferação de doenças infectocontagiosas.



**Figura 01-** Interação Entre os Dejetos de Animais e as Doenças Infecciosas nos Homens e Animais.

Fonte: Oliveira (1993).

Os organismos patogênicos são excretados na urina e fezes, por isso são encontrados nos resíduos dos animais. A salmonelose, por exemplo, tem o poder de se multiplicar até 100.000 vezes na água dos rios, aumentando a suscetibilidade de

doenças. Os coliformes fecais causam doenças como a leptospirose, tularemia, febre aftosa, hepatite, peste suína clássica. Alguns coliformes como a *E. coli*. podem manifestar patogenicidade nociva para pessoas adultas e pode ser fatal para as crianças. Recomenda-se que as águas residuárias despejadas nos rios sejam desinfetadas. A clorização tem sido o método mais comum (OLIVEIRA, 1993). Quando o estrume líquido é aplicado em grandes quantidades no solo sem tratamento prévio, poderá ocorrer sobrecarga da capacidade de filtração do solo e retenção dos nutrientes. Alguns destes nutrientes podem atingir as águas subterrâneas ou superficiais acarretando problemas de contaminação (OLIVEIRA, 1993).

Segundo Oliver (2008) a aplicação de dejetos sem tratamento no campo pode acarretar:

- Queima de plantas;
- Poluição ambiental;
- Sequestro de nitrogênio para decomposição da celulose, causando deficiência das plantas;
- Disseminar sementes de plantas daninhas;
- Conter microorganismos patogênicos.

Os grandes centros produtores de suínos já enfrentam dificuldades para manter os seus atuais rebanhos, como decorrência do excesso de dejetos, da saturação das áreas para disposição agrônômica, da contaminação dos recursos naturais e dos altos investimentos para o tratamento dos efluentes. Esta situação é excelente oportunidade de crescimento para os países do Mercosul, especialmente o Brasil, que dispõe de clima tropical e extensas áreas para a utilização como fertilizante agrícola (DARTORA et al, 1998).

Diante de inúmeros problemas que estes resíduos podem acarretar é imprescindível a busca por novas alternativas. Medeiros e Lopes (2006, p. 26) enfatizam que:

A preocupação em se gerar alternativas ao problema dos rejeitos líquidos e sólidos na agricultura, transformá-los em insumos de baixo custo e capazes de serem aplicados na atividade produtiva primária, representa um grande avanço na preservação do meio ambiente. Contudo, serão necessários investimentos em pesquisa e desenvolvimento, para que se produzam metodologias de elevado alcance para o agricultor, e grandes esforços no

sentido de se consolidar o emprego desses processos bioquímicos como forma de se promover a sustentabilidade dos ambientes agrícolas.

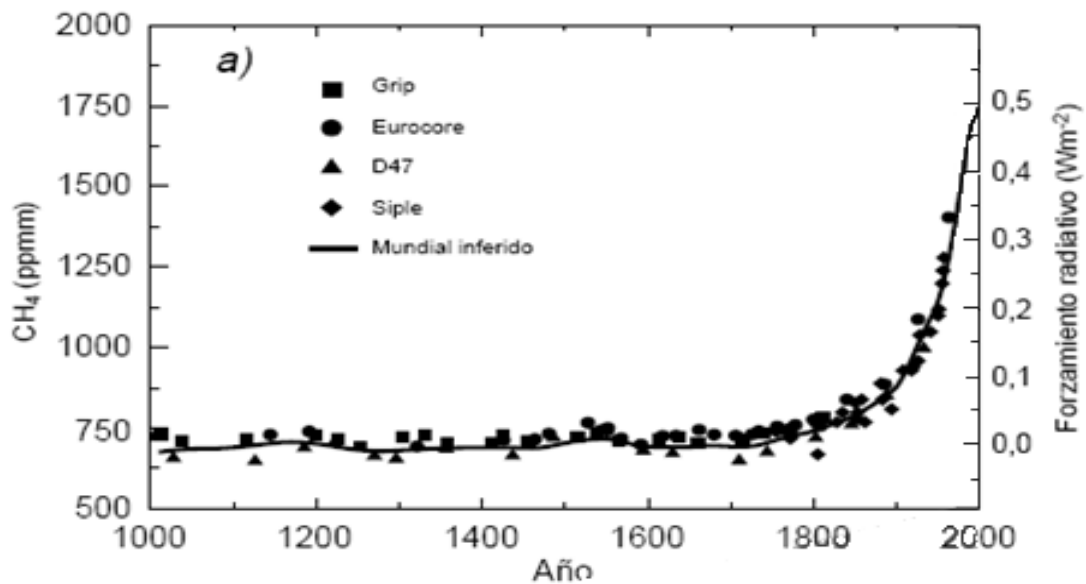
Para controlar e reduzir a degradação ambiental e a suscetibilidade às doenças, é fundamental que sejam reduzidos o volume e a concentração dos resíduos gerados, seguidos de um tratamento e destino adequado dos mesmos. Uma boa alternativa para diminuir os efeitos indesejados do uso de dejetos no ambiente é a sua fermentação em um biodigestor (SCHULTZ, 2007). O autor lembra, contudo, que este processo consiste em submeter os sólidos e os líquidos a condições técnicas que facilitam a ação de microrganismos como bactérias e fungos, estabelecendo a reciclagem natural dos materiais orgânicos. Os dejetos de suínos “possuem um bom potencial energético em termos de produção de biogás, tendo em vista que mais de 70% dos sólidos totais são constituídos pelos sólidos voláteis, que são o substrato dos microrganismos produtores de biogás” (DIESEL et al, 2002, p. 14).

### 3.3. EMISSÕES DE METANO

Os excrementos suínos liberam gases tóxicos que podem ser maléficos quando lançados em grande quantidade para a atmosfera, dentre esses gases está presente o metano. O metano é um hidrocarboneto, acíclico, saturado, de densidade igual a  $0,55 \text{ kg/m}^3$  e peso molecular  $16,04 \text{ g/mol}$ , tem ponto de fusão de  $90,6 \text{ K}$  ( $-182,5^\circ\text{C}$ ) e ponto de ebulição de  $111,55 \text{ K}$  ( $-161,6^\circ\text{C}$ ), é formado pela combinação de um átomo de carbono e quatro de hidrogênio ( $\text{CH}_4$ ). É incolor, inodoro e sob condições normais de temperatura é gasoso (COMASTRI FILHO, 1981).

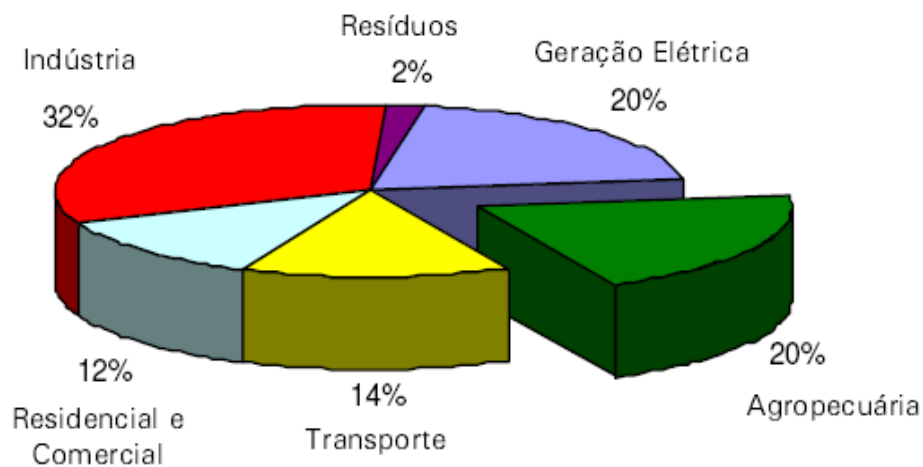
Desde 1750 as concentrações de metano na atmosfera aumentaram em 150%. Foram feitas medições da concentração de  $\text{CH}_4$  da atmosfera em 1983 e a sua abundância passou de  $1,610 \text{ ppm}$  para  $1,745 \text{ ppm}$  em 1998 (Figura 2). A partir de amostras de gelo, que aprisionaram amostras de gás pode-se analisar um aumento da abundância desde a era pré-industrial (IPCC, 2001). O metano tem uma vida relativamente curta na atmosfera, de aproximadamente 10 a 12 anos. As emissões globais de metano, de todas as fontes, tanto naturais quanto

antropogênicas, são de cerca de 500-600 milhões de toneladas métricas por ano (IPCC, 2007).



**Figura 02** - Aumento da Concentração de Metano ( $\text{CH}_4$ ) na Atmosfera de 1750 a 1998.  
Fonte: IPCC (2001).

As emissões de metano resultam de aterros sanitários, tratamento de esgotos, sistemas de produção e processamento de petróleo e gás natural, atividades agrícolas, mineração de carvão, queima de combustíveis fósseis, conversão de florestas para outros usos e alguns usos industriais (OLIVEIRA, 2009). A Figura 3 ilustra as principais fontes mundiais de emissão de metano.



**Figura 03** - Fontes de Emissões Mundiais de Metano.  
Fonte: USEPA adaptado por KONZEN (2006).

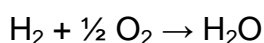
Existem também emissões naturais em ambientes como pântanos, sedimentos de rios, lagos, mares, minas de carvão, no trato digestivo de animais (AMARAL, 2004). Entretanto, de acordo com Oliveira (2009), no Brasil, as emissões de metano são oriundas, na sua maioria, de atividades pecuárias, proveniente da fermentação de dejetos de animais e a queima de resíduos agrícolas. No setor de energia, as emissões de CH<sub>4</sub> ocorrem por causa da queima de combustíveis fósseis e também pela fuga do gás natural em seus processos de produção e transporte (OLIVEIRA, 2009).

Para Amaral (2004), o uso energético biogás é uma medida fundamental para mitigar o efeito estufa, pois, “evita que o metano seja lançado na atmosfera, já que, com a combustão, o metano vai a CO<sub>2</sub>, e este, como gás de efeito estufa, tem poder 21 vezes menor que o metano”. Realizando a combustão do metano, reduz-se a poluição atmosférica possibilitando a venda de créditos de carbono no mercado internacional (SEGANFREDO, 2006). Segundo Oliveira et al (2009), a combustão do metano pode ser descrita da seguinte forma:

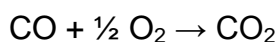
- O metano forma um radical metila que reage com o formaldeído. O Formaldeído reage para formar o radical (HCO), que então forma o monóxido de carbono (CO). O processo é chamado pirólise:



- Seguindo a pirólise oxidativa, o H<sub>2</sub> oxida, formando H<sub>2</sub>O, reabastecendo a espécie ativa, e liberando calor:



- Finalmente, o CO oxida-se, formando CO<sub>2</sub> e liberando mais calor:



### 3.4. O BIOGÁS

O biogás era encarado até pouco tempo atrás apenas como um subproduto. Atualmente o acelerado crescimento econômico e o aumento dos preços dos combustíveis convencionais têm encorajado as investigações na produção de energia a partir de fontes renováveis e economicamente atrativas (CASSINI, 2003).

De acordo com Comastri Filho (1981, p. 9), o biogás pode ser definido como:

[...]um gás incolor, altamente combustível, que produz chama azul-clara e queima com um mínimo de poluição. É o produto final da fermentação anaeróbica de dejetos animais, de resíduos vegetais e de lixo residencial e industrial, em condições adequadas de umidade. É uma mistura gasosa combustível, de alto poder calorífico, composta basicamente de dois gases, o metano ( $\text{CH}_4$ ), que representa 60-70% restantes da mistura, e o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) que representa os 40-30% restantes. Outros gases (nitrogênio, N; hidrogênio, H e gás sulfídrico,  $\text{H}_2\text{S}$ ) participaram da mistura em proporções menores. A qualidade do biogás é uma função da percentagem de metano da mistura. Quanto maior for a percentagem de metano, melhor será o biogás.

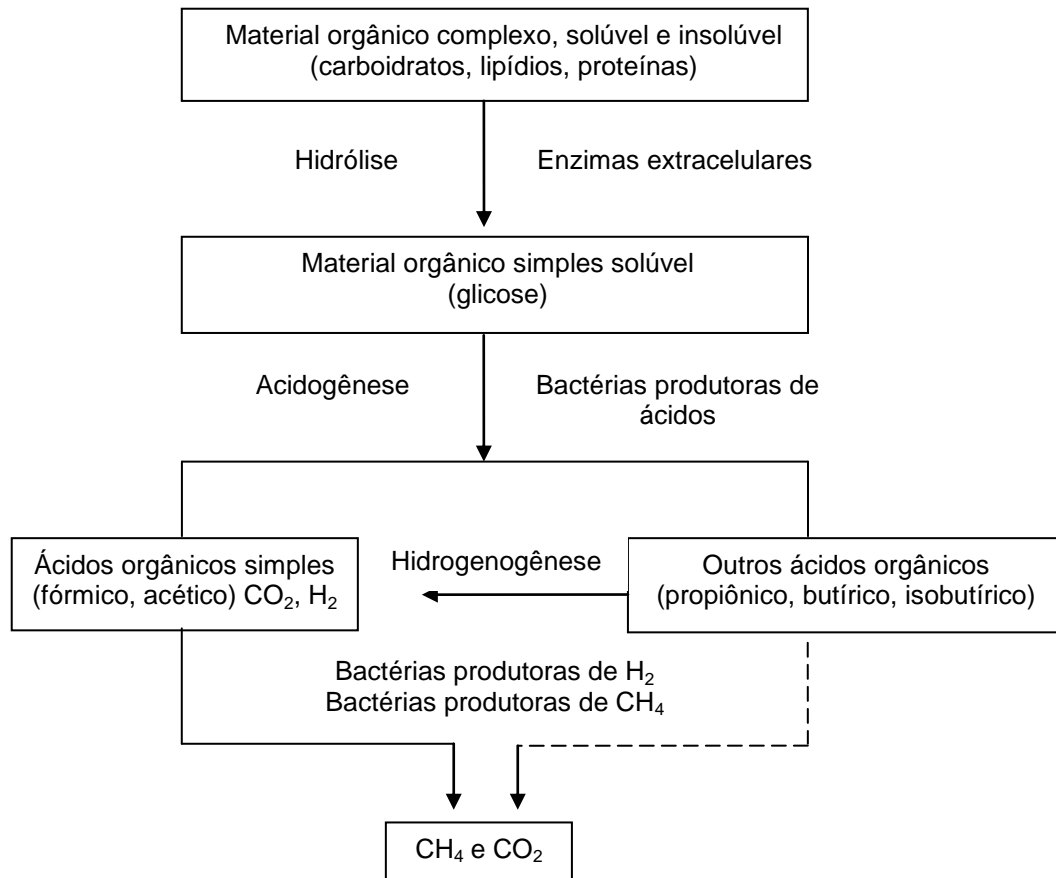
É um gás leve (mais leve que o ar) que possui um baixo teor de monóxido de carbono (inferior a 0,1%), mas em razão das impurezas que contém, o metano é muito corrosivo, principalmente pela ação do gás sulfídrico (CASSINI, 2003). A emissão de biogás contribui para o agravamento do aquecimento global e provoca impactos negativos ao meio ambiente e para a sociedade. Provoca odores desagradáveis pela emissão de gases fétidos, devido à concentração de compostos de enxofre presentes no gás além de uma pequena, mas não desprezível, presença de bactérias anaeróbicas (COELHO et al, 2008). Os dejetos animais são os melhores alimentos para a produção de biogás, pelo fato de já saírem de seus intestinos carregados de bactérias anaeróbicas. Como vantagem da biomassa em substituição aos combustíveis fósseis, podemos citar o maior emprego da mão-de-obra, a menor poluição atmosférica global e localizada e a estabilidade do ciclo do carbono (SILVA et al, 2009).

Os principais microorganismos envolvidos na digestão anaeróbica são as bactérias metanogênicas. São conhecidos três grupos em função da temperatura requerida para o seu desenvolvimento:

- As psicrófilas, que se desenvolvem em temperaturas menores que  $20^\circ\text{C}$ ;
- As mesófilas, que se desenvolvem na faixa de temperatura de 20 a  $45^\circ\text{C}$ , tendo como ponto ótimo de rendimento a temperatura de  $35^\circ\text{C}$ ;
- Termófilas, que se desenvolvem em temperaturas acima de  $45^\circ\text{C}$ , tendo como ponto ótimo a temperatura de  $54^\circ\text{C}$  (COMASTRI FILHO, 1981).

Segundo Oliveira e Higarashi (2006), os principais passos do processo de digestão anaeróbia são a hidrólise de proteínas, lipídios e hidratos de carbono; fermentação de aminoácidos e açúcares; oxidação anaeróbia de ácidos graxos de

cadeia longa e alcoóis; oxidação anaeróbia de ácidos gordos voláteis; conversão de  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$  em ácido acético; conversão do acético em  $\text{CH}_4$ ; conversão do  $\text{H}_2$  em  $\text{CH}_4$ . A Figura 4 ilustra as etapas da digestão anaeróbia.



**Figura 04** - Etapas da Digestão Anaeróbia.

Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2006).

Cassini (2003), considera que os fatores que afetam a sobrevivência das bactérias, afetarão diretamente a produção de biogás:

- Impermeabilidade ao ar: bactérias metanogênicas são exclusivamente anaeróbias e a decomposição da matéria orgânica na presença de oxigênio irá produzir apenas gás carbônico.
- Temperatura: a faixa ideal para produção de biogás é de 35 a 45°C. Não deve haver variações bruscas de temperatura, pois esses microorganismos não resistem e a produção diminui consideravelmente.
- Alcalinidade e pH: a acidez do meio é indicada pelo pH, que será medida pela quantidade de carbonato na solução ( $\text{CO}_2$  proveniente da digestão).



Conforme Pecora (2006), pode-se reduzir o metano emitido para a atmosfera através da captura, seguido da queima. Isto pode ser feito pela sua simples combustão com o objetivo de prevenir sua emissão. Pode-se também recuperar o metano como fonte de energia evitando-se assim a queima de quantidade equivalente de combustível fóssil. Em ambos os casos o dióxido de carbono é formado.

Segundo Cassini (2003), pode ser considerado como combustível qualquer corpo cuja combinação com outro resulte em reação exotérmica. A reação do metano libera 19, 755 kcal/mol de energia nas condições padrão de 25°C e 1 atm (191,755 kcal/mol = 802,3 kJ/mol = 222,84 watt-hora/mol). Lima (2007) salienta que para usar o biogás como combustível deve-se estabelecer uma relação entre o biogás, com determinado teor de metano, e o ar, de modo a possibilitar uma queima eficiente. O metano (CH<sub>4</sub>), não tem cheiro, cor ou sabor, mas outros gases presentes no biogás conferem-lhe um ligeiro odor de vinagre ou de ovo podre.

No Brasil o uso da biodigestão anaeróbia teve um forte impulso nas décadas de 70 e 80 caindo posteriormente devido à falta de conhecimento. Nos anos 90 ganhou força novamente, tornando-se uma alternativa para a agregação de valor ao dejetos (KUNZ et al, 2005).

#### 3.4.1. Utilizações do Biogás

O biogás, por apresentar alta percentagem de metano, é extremamente inflamável. É comumente utilizado no meio rural proporcionando mais conforto ao homem do campo (COMASTRI FILHO, 1981). Para Pecora (2006), a mistura gasosa produzida pode ser utilizada como combustível, o qual, além de seu alto poder calorífico, de ser uma ótima alternativa para o aproveitamento do lixo orgânico, de não produzir gases tóxicos durante a queima, ainda deixa como resíduo um lodo que é um excelente biofertilizante.

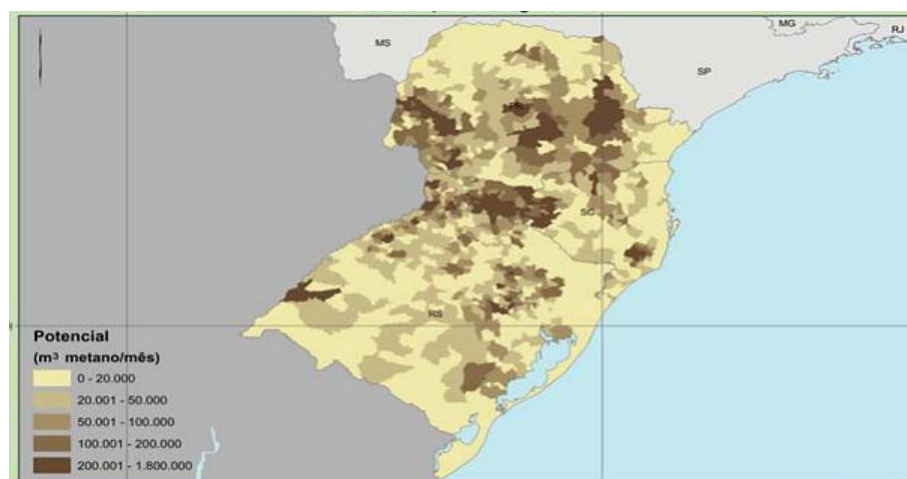
A utilização do biogás em termos ambientais representa uma melhoria global no rendimento do processo. No meio rural o biogás pode atender quase todas às necessidades energéticas básicas, tais como: cozimento, iluminação, aquecimento e geração de energia elétrica para diversos fins. Pode ser utilizado como adubo para o

solo, pois é um efluente resultante da fermentação anaeróbia da matéria orgânica por um determinado período de tempo (DIESEL et al, 2002).

Segundo Cenamo (2005), pode-se captar o biogás com a instalação dos biodigestores e, conseqüentemente, a geração de energia por meio da combustão do gás, resultando em benefícios ao meio ambiente, energia a um custo reduzido para o produtor, redução das emissões de GEEs para a atmosfera e em receita com venda de créditos de carbono para os potenciais investidores. A Figura 5 ilustra o potencial de produção de metano nos municípios da Região Sul do Brasil.

Tendo em vista que a disposição final dos efluentes suínos gera um grande impacto ambiental e que sua utilização para produção de biogás é uma alternativa viável, pode-se subentender que a região sul do Brasil é bem promissora, pois conta com o maior rebanho de suínos.

Segundo Comastri Filho (1981), o uso da biodigestão como forma de tratamento possibilita a utilização do biogás como fonte de energia e o aproveitamento do biofertilizante, também denominado de efluente, pois já se encontra completamente “curado”, não possui odor e não é poluente. Este resíduo líquido pode ser aplicado diretamente no solo na forma líquida ou desidratada, dependendo das condições locais.



**Figura 05** - Estimativa do Potencial de Geração de Energia a Partir do Biogás Proveniente de Suínos nos Municípios da Região Sul do País.

Fonte: Coelho et al ( 2005).

### 3.5. GERAÇÃO DE ENERGIA

Oliveira et al (2009), salienta que os sistemas energéticos são selecionados em função de dois parâmetros fundamentais: disponibilidade técnica e viabilidade econômica. Porém, recentemente outra variável tem sido incorporada: a ambiental.

Algumas formas de energia disponíveis para o consumo são renováveis, entre elas estão a energia solar, a eólica, a hídrica e a da biomassa. ICLEI (2009) relata que apenas 3,5% da matriz energética brasileira correspondem a fontes renováveis. O restante baseia-se principalmente em hidrelétricas (13,8%), produtos da cana-de-açúcar (16,4%), lenha e carvão vegetal (11,6%).

Percora (2006) enfatiza que a degradação do meio ambiente está intimamente relacionada com a produção de energia convencional e o seu consumo. Esta degradação ameaça a saúde humana e a qualidade de vida, além de afetar o equilíbrio ecológico e a diversidade biológica. Para CMMAD (1991), os desgastes atuais e os padrões de desenvolvimento econômico se interligam. Uma maneira de controlar essas adversidades é utilizá-la de maneira mais eficiente, ou substituir os recursos energéticos derivados de combustíveis fósseis por outros com menores emissões de gases por kWh consumido (PECORA, 2006). É importante a busca pelo controle do processo de obtenção da energia, de tal forma que se ajuste as necessidades exigidas pela sociedade, a partir da disponibilidade natural dos recursos. Enquanto a demanda humana por energia tem crescido, os recursos naturais, fonte primária de suprimento dessas necessidades, são limitados (OLIVEIRA et al, 2009).

Barrera (1993), compartilha desse ponto de vista ao afirmar que “grande parte da energia depositada em resíduos agrícolas é simplesmente desperdiçada, lançada na forma de gases e calor para a atmosfera, através da decomposição”. Segundo Beck (2007), na zona rural uma atividade importante é o manejo e disposição dos dejetos suínos, devido ao alto potencial poluidor, sendo que a utilização do biogás como potência renovável e sustentável, permite reduzir a emissão de gases efeito estufa e diversificar a matriz energética nacional.

Nas próximas décadas, a biomassa deverá ser base das fontes renováveis e insumo para a indústria química. Caso a sociedade mundial decida manter a concentração de carbono na atmosfera nas atuais 550 ppm, grande parte da energia

futura não conterà carbono fóssil (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2006).

Souza et al (2004), apresentam uma metodologia capaz de estimar os custos da produção de eletricidade via biogás. Este custo considera o capital investido na construção e manutenção do biodigestor e do sistema motogerador. A equação (01) permite o cálculo do custo de produção de energia elétrica via biogás.

$$C_e = \frac{CAG + CAB}{PE} \quad (01)$$

Onde:  $C_e$  é o custo de energia elétrica produzida via biogás (R\$/kWh), CAB é o gasto anual com biogás (R\$/ano), PE é a produção de eletricidade pela planta de biogás (kWh/ano) e CAG é o custo anualizado do investimento no conjunto motogerador (R\$/ano). A variável CAG pode ser calculada de acordo com as equações (02) e (03).

$$CAG = CIG.FRC + \frac{CIG.OM}{100} \quad (02)$$

$$CAB = CB.CNB \quad (03)$$

Onde: CIG é o custo do investimento no motor gerador (R\$), OM é o custo com a organização e manutenção (%/ano), CB é o custo do biogás (R\$/m<sup>3</sup>) e CNB é o consumo de biogás pelo conjunto motor gerador (m<sup>3</sup>/ano).

A produção de eletricidade (PE) é dada pela equação (04):

$$PE = Pot.T \quad (04)$$

Onde: Pot é a potência nominal da planta (kW) e T a disponibilidade anual da planta (horas/ano).

O fator de recuperação de capital (FRC) pode ser calculado pela equação (05).

$$FRC = \frac{j \cdot (1+j)^n}{(1+j)^{n+1} - 1} \quad (05)$$

Onde:  $j$  é a taxa de desconto (% ano) e  $n$  é o número de anos para a amortização do investimento.

O custo do biogás (CB) que deve ser calculado para a equação (03) pode ser calculado utilizando-se a equação (06).

$$CB = \frac{CABio}{PAB} \quad (06)$$

Onde: CABio é o custo anualizado do investimento no biodigestor (R\$/ano) e PAB a produção anual de biogás (m<sup>3</sup>/ano).

A variável CABio pode ser calculada pela equação (07).

$$CABio = CIB \cdot FRC + \frac{CIB \cdot OM}{100} \quad (07)$$

Onde a variável CIB representa o custo de investimento no biodigestor (R\$).

Para se verificar a viabilidade de geração de energia elétrica, determinou-se o tempo de retorno do investimento (TRI).

$$TRI = \frac{\ln\left(\frac{k}{j-k}\right)}{\ln(1+j)} \quad (08)$$

Para a equação (08) a variável  $k$  é definida pela equação (09).

$$k = \frac{A}{CI} - \frac{OM}{100} \quad (09)$$

Onde

$$A = CI \cdot \left( FRC + \frac{OM}{100} \right) \quad (10)$$

Nas equações de (08) a (10) tem-se: CI é o custo de investimento no sistema biodigestor/motor-gerador (R\$), A é o gasto anual com energia elétrica adquirida na rede (R\$/ano), OM é o gasto com amortização e manutenção da planta (R\$/ano) e TRI o tempo de retorno (anos).

As equações de (01) a (10) permitem, desta forma, o cálculo do custo de energia elétrica em uma propriedade rural a fim de comparar com o custo da energia fornecida por uma empresa.

### 3.6. CRÉDITOS DE CARBONO E PROJETOS MDL

Como proposta para os problemas ambientais causados pela poluição atmosférica, foi estabelecida a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, que, em 1997, criou na presença de 166 representantes de países o acordo conhecido como Protocolo de Quioto (CENAMO, 2005). Esse pacto distribuiu as responsabilidades para os países conforme a potencial contribuição para a destruição. Pereira e Nossa (2005, p. 3) colaboram afirmando que:

De um lado, ficaram os países desenvolvidos e/ou industrializados, listados no Anexo I do Protocolo de Quioto, responsáveis pelas maiores emissões de carbono (em razão de seu consumo de energia à base de combustíveis fósseis – petróleo, carvão e gás natural), de gases gerados nos processos industriais, na agricultura, no lixo e no esgoto. No outro lado, ficaram todos os demais países, os não apresentados no Anexo I do Protocolo de Quioto, como Brasil, China, Índia, México e Coréia. A partir dessa divisão, procurou-se fixar limites de emissão de carbono para cada país industrializado.

Para Gonçalves (2008), esse acordo estabelece metas de redução de emissão dos gases do efeito estufa para países desenvolvidos e cria instrumentos de flexibilização dessas metas, entre os quais se destaca o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL). Conforme Bassetto et al (2006), o Brasil não tem obrigação de reduzir suas emissões, mas tem potencial para implantação de projetos de MDL. O país é responsável por uma pequena parcela das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, no entanto, é o compromisso histórico do Brasil com a geração de energia limpa, o qual foi incorporado como um aspecto

cultural. O MDL é uma oportunidade para que o Brasil participe do esforço global do combate à mudança do clima, recebendo recursos externos e transferência de tecnologia que permitirão a redução de emissões, formação de recursos humanos e geração de novos e melhores empregos, propiciando benefícios ambientais e mais qualidade de vida (MIGUEZ et al, 2008). O MDL determina que os países apresentados em um documento denominado Anexo I que não consigam atingir integralmente suas metas de redução, podem adquirir os chamados “créditos de carbono” de projetos localizados em outros países em desenvolvimento, como, por exemplo, do Brasil (CENAMO, 2005).

Pinho (2008, p.64) fornece informações de que esse mercado passou a existir devido à preocupação com a sustentabilidade.

Os efeitos danosos da ação antrópica desordenada sobre o meio ambiente, agora cientificamente comprovados, alcançaram níveis alarmantes a partir do final do século passado, fazendo com que os governos, as organizações e os cidadãos passassem a priorizar as discussões e ações concretas voltadas ao controle e à mitigação do chamado efeito estufa, responsável pelo desencadeamento das severas e preocupantes mudanças climáticas em curso, e causado pela emissão descontrolada de carbono na atmosfera.

Para ser aceito é necessário que o projeto desenvolva-se espontaneamente e cumpra o requisito básico de contribuir para o desenvolvimento sustentável do país hospedeiro. Ainda segundo Pinho (2008), os projetos de MDL podem ser divididos em duas categorias:

- i) Projetos de redução de emissão, geralmente associados ao deslocamento de emissões oriundas da queima de combustíveis e/ou captura e queima de metano;
- ii) Projetos de remoção de CO<sub>2</sub> atmosférico ou “seqüestro de carbono”, relacionados à captação e estocagem de carbono em ecossistemas florestais.

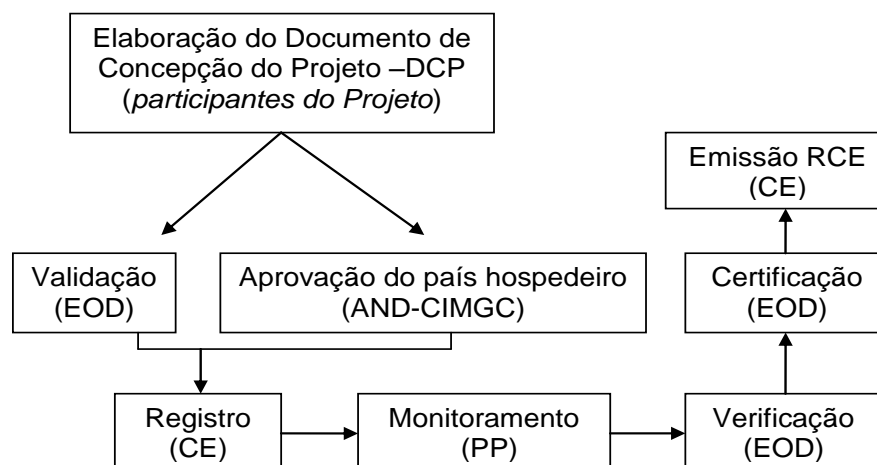
Para serem aprovados, os projetos brasileiros devem atender ao pré-requisito da adicionalidade. Sob a ótica do desenvolvimento sustentável, a Resolução nº 1 da Comissão Interministerial de Mudança do Clima determina que os projetos a ela submetidos, tragam substanciais benefícios ambientais e sociais, garantindo a geração de emprego e renda. Para se avaliar a contribuição que a implantação de um determinado projeto pode trazer, é preciso ter um ponto de partida como cenário de referência, ou seja, ele deve mostrar que pode mudar toda a realidade (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2006).

Segundo Ribeiro (2005), existem quatro critérios para a aprovação dos projetos de MDL: adicionalidade, o estabelecimento de uma linha de base, o plano de monitoramento e critérios para identificação das fugas. A adicionalidade é cumprida quando ocorre a redução de emissões antrópicas de GEEs, gerando o mínimo de resíduos possível. A linha de base é o elemento fundamental para determinação da adicionalidade, pois demonstra o cenário que haveria na ausência do investimento. Já as fugas, são emissões sucedidas fora da área geográfica envolvida no projeto. O plano de monitoramento deve conter a descrição do processo de coleta dos dados necessários para estimar e medir as emissões.

Para que um projeto resulte em reduções certificadas de emissões (RCEs) deve passar pelas seguintes etapas:

- a) elaboração de documento de concepção de projeto (DCP), usando metodologia de linha de base e plano de monitoramento aprovados;
- b) validação;
- c) aprovação pela Autoridade Nacional Designada (AND), que no caso do Brasil é a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima;
- d) submissão ao Conselho Executivo para registro;
- e) monitoramento;
- f) verificação/certificação;
- g) emissão de unidades segundo o acordo de projeto (JURAS, 2009).

A Figura 06 ilustra as etapas citadas anteriormente.



**Figura 06** - Etapas do Ciclo de Aprovação do projeto de MDL.  
Fonte: Bartholomeu (2006).



O Protocolo define os gases considerados de efeito estufa e os setores da economia responsáveis por essas emissões, para assim poder determinar os percentuais de emissão e metas de redução. Esses gases selecionados são: Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), Metano ( $\text{CH}_4$ ), Óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), Hidrofluorcarbonos (HFCs), Perfluorcarbonos (PFCs), Hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ). Os setores que o Protocolo considera como responsáveis pelas emissões são: energia, transporte, emissões fugitivas de combustíveis, combustíveis sólidos, petróleo e gás natural, processos industriais, produtos minerais, indústria química, produção de halocarbonos e hexafluoreto de enxofre, consumo de halocarbonos e hexafluoreto de enxofre, agricultura, uso do solo, mudança do uso do solo e floresta, tratamento de esgoto (CQNUMC, 1997).

Os custos de transação dos projetos dificultam a participação de pequenos empresários e o acesso de proponentes de baixa renda. O MDIC, em parceria com a Bolsa de Mercadorias e Futuros (BM&F) e subsidiado pela Fundação Getúlio Vargas, criou o Mercado Brasileiro de Redução de Emissões com o objetivo de viabilizar as transações e conferir maior visibilidade aos investidores (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2006). Uma atividade do setor agrícola que tem chamado grande atenção no contexto do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo é o tratamento de dejetos suínos e a captação do biogás produzido para geração de energia. Geralmente os dejetos são descartados diretamente no meio ambiente sem nenhum controle das emissões de gases resultantes do processo de decomposição (CENAMO, 2005).

O manejo de dejetos animais para aproveitar gás metano na geração de energia é atividade muito promissora, especialmente por já existir metodologia aprovada. Devemos considerar que os gases de efeito estufa não são formados apenas pelo  $\text{CO}_2$  e que gases como o metano e o anidrido sulfuroso, são extremamente perniciosos como poluidores atmosféricos. Uma das vantagens do uso de biomassa é a emissão baixa ou nula desses gases (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2006). No futuro as implantações de MDL nos sistemas de produção de suínos deverá tomar grandes proporções (KONZEN, 2006). O uso energético da biomassa é mais vantajoso do que o sequestro e fixação, porque a biomassa energética pode substituir os combustíveis fósseis diretamente, é possível ter mais certeza em relação as medições das contribuições, menor custo de investimento. A redução das emissões

pela biomassa é um fenômeno definitivo (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2006). Um total de 7092 projetos encontravam-se em alguma fase do ciclo de projetos do MDL. Em primeiro lugar encontra-se a China com 2729 projetos (38%), em segundo, a Índia com 1938 projetos (27%), o Brasil ocupa o 3º lugar, com 477 projetos (7%), sendo responsável em termos do potencial de reduções de emissões pela redução 398.867.673 tCO<sub>2</sub>e (CQNUMC, 2011).

Existem 23 projetos de MDL oficialmente aprovados em todo o mundo e apenas dois são brasileiros, ambos de queima de gases em aterros sanitários; portanto, não-vinculados ao agronegócio (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2006).

A redução de emissões de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) representa 65% dos projetos de MDL no Brasil, em seguida vem os projetos de metano (CH<sub>4</sub>) com 34% e o Óxido nítrico (N<sub>2</sub>O) correspondendo apenas a 1% dos projetos (MIGUEZ et al, 2008).

A geração de eletricidade no Brasil é o setor mais eficiente no desenvolvimento desse tipo de projeto, respondendo por 61% dos projetos desenvolvidos. Nesse setor a redução no consumo de combustíveis fósseis reduz a emissão de gás carbônico, o que explica a predominância desse gás na composição dos projetos do MDL nacionais (MIGUEZ et al, 2008). Ainda conforme o autor citado, o segundo setor que mais apresentou projetos é o da suinocultura, com 16% dos projetos, seguido pelo setor de aterros sanitários, com 11%. A redução de emissões de metano, concentrada no Brasil nos setores de aterros sanitários e suinocultura, representa 39% das reduções de emissões brasileiras, seguida pelo setor de geração de energia, que representa 29% das reduções de emissões. A Região Sudeste responde por 46% dos projetos do MDL desenvolvidos no Brasil, as Regiões Sul e Centro-Oeste respondem por 21% e 19%, respectivamente. Na Região Sul, o estado do Rio Grande do Sul destaca-se com 9% dos projetos MDL e, na Região Centro-Oeste, o estado de Mato Grosso, com outros 9% dos projetos MDL (MIGUEZ et al, 2008).

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. LOCAL DE ESTUDO

O local de estudo consiste em uma propriedade rural localizada na Microbacia do Rio São João (por ser uma área concentrada de produtores de suínos) com criação de aproximadamente 1000 suínos no sistema de engorda para comercialização. A Figura 7 ilustra a localização da área de estudo.



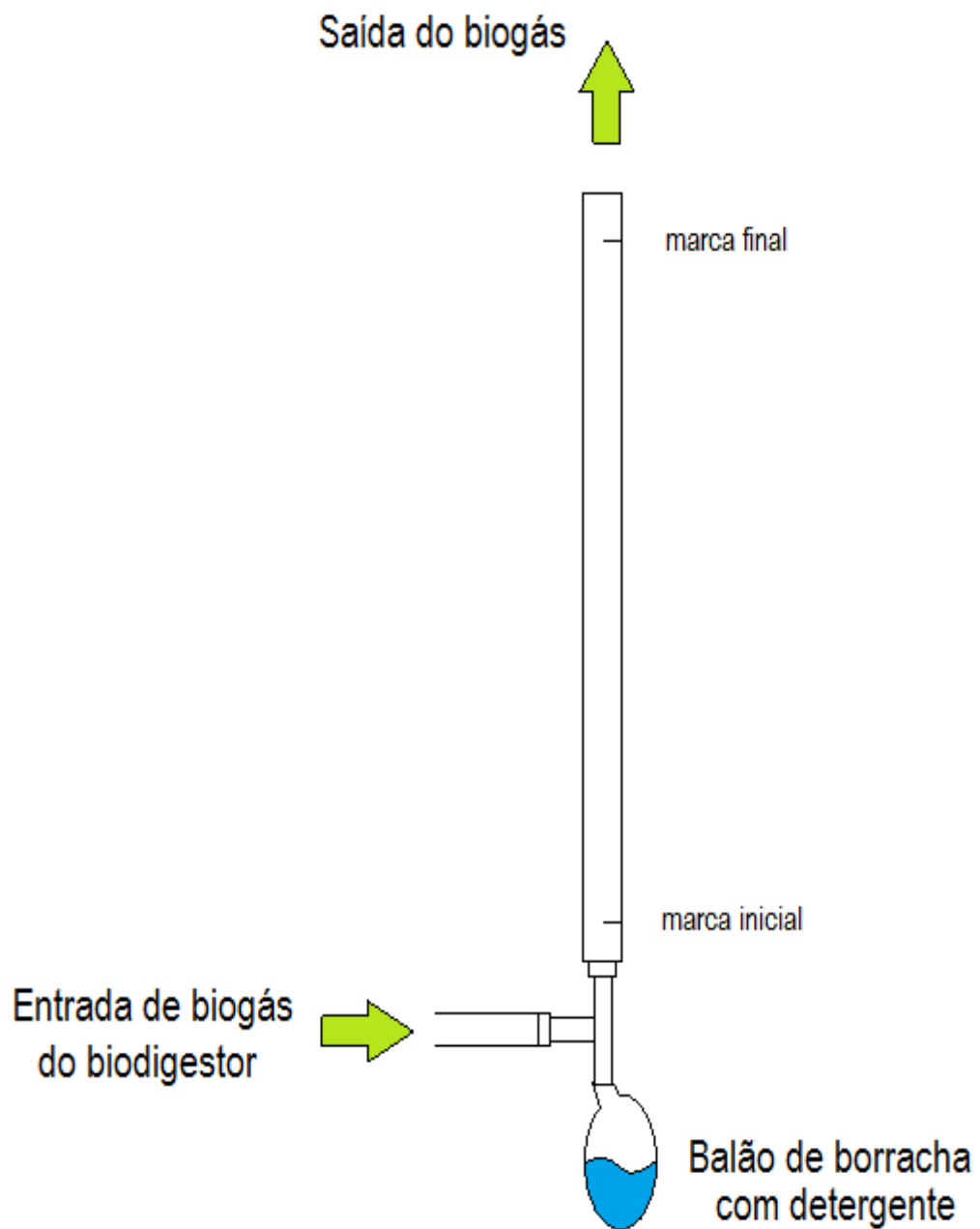
**Figura 7-** Imagem de Satélite do Local de Estudo.  
Fonte: Google Maps (2011).

### 4.2. MEDIÇÃO DA VAZÃO DE BIOGÁS PRODUZIDO

#### 4.2.1. Construção e Operação do Medidor de Biogás

Para as medições da vazão de biogás produzido foi construído um equipamento que permitia a medição do volume de biogás em função do tempo de amostragem. Para a sua confecção foram utilizados os seguintes materiais: uma chapa metálica em formato de cantoneira, barra de ferro, mangueira plástica

transparente, fita métrica e uma conexão hidráulica. A Figura 08 ilustra o princípio de funcionamento do medidor e a Figura 09 ilustra o equipamento construído.



**Figura 08** – Ilustração do Princípio de Funcionamento do Medidor.



**Figura 09** – Medidor Construído Para Determinar a Vazão de Biogás.

O procedimento utilizado para a medição do biogás pode ser descrito da seguinte forma:

- Na parte inferior conectou-se um “T” na mangueira plástica, na lateral (como mostra a Figura 09). Este ponto consistia da conexão do medidor com o biodigestor. Na outra extremidade do “T” foi acoplado um balão de borracha com detergente.

- Após o ajuste do balão com detergente e adaptada a mangueira do biodigestor, abria-se a válvula para entrada do biogás. Após o início da passagem do biogás pelo medidor, pressionava-se o balão de borracha com detergente. Formava-se então um bolha que acompanhava um determinado volume de biogás no interior do medidor. O acompanhamento da trajetória da bolha era feito entre as marcas inicial e final. Tinha-se, desta forma, um volume conhecido.

- Com o auxílio de um cronômetro determinavam-se os segundos em que a bolha percorria em um metro.

- Simultaneamente ao processo de medição da vazão, determinava-se também a temperatura ambiente.

#### 4.2.2. Cálculo da Vazão de Biogás

Para o cálculo da vazão de biogás e o ajuste para as condições padrão de temperatura e pressão (25°C e 1 atm), utilizou-se as equações (11) e (12), respectivamente:

$$Q_{\text{biogás}} = \frac{V_{\text{medidor}}}{t_{\text{amostragem}}} \quad (11)$$

Na equação (11) têm-se as seguintes variáveis:  $Q_{\text{biogás}}$  é a vazão de biogás, em  $\text{m}^3/\text{h}$  medida nas condições de amostragem;  $V_{\text{medidor}}$  é volume do medidor de biogás, em  $\text{m}^3$  e,  $t_{\text{amostragem}}$  é o tempo medido da passagem da bolha pelo volume conhecido do medidor, em h.

$$Q_{\text{biogás padrão}} = Q_{\text{biogás amostrado}} \left( \frac{P_{\text{ambiente}}}{P_{\text{padrão}}} \right) \left( \frac{T_{\text{padrão}}}{T_{\text{ambiente}}} \right) \quad (12)$$

Na equação (12) têm-se as seguintes variáveis:  $Q_{\text{biogás amostrado}}$  é a vazão de biogás, em  $\text{m}^3/\text{h}$  medida nas condições de amostragem;  $Q_{\text{biogás padrão}}$  é a vazão de biogás, em  $\text{m}^3/\text{h}$  nas condições de referência;  $P_{\text{ambiente}}$  é a pressão ambiente durante a amostragem, em atm;  $P_{\text{padrão}}$  é a pressão padrão igual a 1 atm;  $T_{\text{padrão}}$  é a temperatura padrão igual a 25 °C;  $T_{\text{ambiente}}$  é a temperatura ambiente durante a amostragem.



### 4.3. DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS

#### 4.3.1. Coleta da Amostra de Biogás para Análise

Para coletar o biogás e realizar as análises, foi utilizado um amostrador flexível construído em PEAD. A Figura 10 ilustra o recolhimento de biogás no amostrador para posterior análise.



**Figura 10** - Coleta da Amostra de Biogás.

A composição do biogás em termos de, principalmente, metano, dióxido de carbono e ácido sulfídrico foi determinada por dois métodos diferentes.

#### 4.3.2. Determinação da Composição do Biogás por Kit Analisador

A determinação dos principais constituintes do biogás era realizado através da metodologia utilizada pelo kit analisador de biogás (anexo 01), desenvolvido em parceria entre a EMBRAPA Suínos e Aves e a Alfakit. A Figura 11 ilustra os principais componentes do kit.



**Figura 11** – Componentes do kit para Determinação da Composição do Biogás.

Fonte: <http://www.alfakit.com.br/produtos-ver.html?id=21>

#### 4.3.3 Determinação da Composição do Biogás por Cromatografia Gasosa

As amostras de biogás também foram analisadas por cromatografia gasosa no Laboratório de Processos de Separação no Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá.



#### 4.4. ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO TEÓRICA DE BIOGÁS

##### 4.4.1. Modelo CENBIO

Segundo CENBIO (2004), a estimativa do volume de biogás produzido pode ser calculado de acordo com a quantidade de dejetos produzidos pelos suínos de acordo com a equação (13). A fórmula utilizada para o cálculo da estimativa da geração de biogás na suinocultura foi retirada do “Manual do Usuário do Programa de Computador – Biogás – Geração e Uso Energético versão 1.0”, publicado pela CETESB. Segundo a publicação a geração de biogás (em m<sup>3</sup>) corresponde a quantidade de gás resultante da decomposição do esterco gerado diariamente nas propriedades criadoras de suíno.

$$Q_{\text{biogás}} = \text{tempo} \times n^{\circ} \text{ de cabeças} \times Et \times PB \quad (13)$$

Onde: Et = Esterco total = 2,25 kg esterco/(dia.suíno) (para suínos de acordo com CENBIO (2004), PB = Produção de biogás = 0,062 kg biogás / kg esterco (para suínos de acordo com CENBIO (2004) = 0,086 m<sup>3</sup> biogás / kg esterco.

##### 4.4.2. Modelo IPCC

Segundo o modelo IPCC (2006), os principais fatores que afetam as emissões de metano são a quantidade de dejetos produzida e a fração de dejetos que se decompõe anaerobicamente. O primeiro depende da taxa de produção de dejetos por animal e do número de animais e o segundo de como os dejetos são manejados.

De acordo com a metodologia AMS III.D versão 14 – Captura de metano em sistemas de gestão de dejetos animais da UNFCCC, primeiramente deve-se calcular as Emissões da Linha de Base (BE<sub>y</sub>). Para tanto deve ser aplicada a equação (14).

$$BE_y = GWP_{CH_4} * D_{CH_4} * UF_b * \sum_{j,LT} MCF_j * B_{o,LT} * MS\%_{Bi,j} * N_{LT,y} * VS_{LT,y} \quad (14)$$

Esta fórmula deve ser aplicada para cada categoria de suíno. Alguns parâmetros (aqueles que antecedem o símbolo do somatório) possuem o mesmo valor, independentemente da categoria do suíno. Os demais parâmetros (à direita do somatório) possuem valores específicos. Contudo, ainda assim, estes parâmetros podem ter valores iguais se a condição destes for também igual. Observa-se que na equação (14), tem-se 2 incógnitas que dependem de outras fórmulas. As equações (15) e (16), respectivamente.

$$N_{LT,y} = N_{da,y} * \left( \frac{N_{p,y}}{365} \right) \quad (15)$$

$$VS_{LT,y} = \left( \frac{W_{local}}{W_{padrão}} \right) * VS_{padrão} * nd_y \quad (16)$$

A seguir são apresentados e justificados os valores de cada parâmetro de cada tipo de suíno para ser aplicada a equação (14).

- BE<sub>y</sub> = Emissões na Linha de Base no ano “y” em toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO<sub>2e</sub>) que está sendo calculada.
- GWP<sub>CH<sub>4</sub></sub> = Potencial de aquecimento global do metano comparado com o do dióxido de carbono (GWP<sub>CH<sub>4</sub></sub> = 21).
- D<sub>CH<sub>4</sub></sub> = Densidade do metano (D<sub>CH<sub>4</sub></sub> = 0,00067 t/m<sup>3</sup> na temperatura média de 20 °C e na pressão de 1 atm )
- UF<sub>b</sub> = Fator de correção de acordo com o modelo das incertezas (UF<sub>b</sub> = 0,94)
- LT = indexação para cada tipo de suíno do rebanho (LT = 6 tipos distintos de suínos: porcas amamentando, porcas em gestação, marrãs, cachaços, leitões e suínos em terminação no ciclo completo)
- j = indexação para o sistema de gerenciamento de resíduos animais ( j = ao SMDA – Sistema de Manejo de Dejetos Animais da linha de base)
- MCF<sub>j</sub> = Fator anual de conversão de metano para a linha de base do sistema — “j”de gerenciamento de resíduos animais (SMDA). Este fator é obtido em 2006 IPCC - Painel Inter-governamental de Mudanças Climáticas

no Guia Nacional de Inventário dos Gases de Efeito Estufa, Volume 4, Capítulo 10, Anexo 10.A.2, Tabelas 10A-7 e 10A-8 e varia de acordo com a temperatura média do local do SMDA ( $MCF_j = 0,78$ ).

Cabe explicar que as tabelas apresentadas no 2006 IPCC - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas no Guia Nacional de Inventário dos Gases de Efeito Estufa, Volume 4, Capítulo 10, Anexo 10.A.2 estão especificadamente divididas em duas:

- i) para suínos de Corte (Abate): Tabela 10A-7
  - ii) para suínos Reprodutores: Tabela 10A-8
- $Bo_{LT}$  = Potencial máximo de metano produzido pelos Sólidos Voláteis gerados para cada tipo de animal (ou seja, de acordo com o tipo de suíno do ciclo completo). A melhor forma de obtenção dos valores de medição de  $Bo$  é acessando a publicação dos dados de pesquisa específicos do país em questão. Na ausência destes dados, este parâmetro também pode ser obtido do 2006 IPCC - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas no Guia Nacional de Inventário dos Gases de Efeito Estufa, Volume 4, Capítulo 10, Anexo 10.A.2, Tabelas 10A-7 e 10A-8 e este parâmetro varia de acordo com a genética (espécie) e a alimentação (dieta) de cada tipo de suíno da granja ( $Bo_{LT} = 0,48 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{Kg de matéria seca}$ ).
  - $MS\%_{BI,j}$  = percentual de dejetos utilizados no sistema “j” da linha de base. Integralmente todo o dejetos suíno de cada tipo de suíno da granja em estudo é destinado à mesma lagoa anaeróbia ou biodigestor para tratamento; ou seja, para remoção da carga orgânica. Neste caso é considerado que 100% do esterco suíno é encaminhado à lagoa. ( $MS\%_{BI,j} = 1$ ).
  - $N_{LT,y}$  = Média anual do número de animais por tipo “LT” no ano “y” (números). De acordo com a equação 15, deve-se determinar outros parâmetros para o cálculo de  $N_{LT,y}$ .
  - $N_{da,y}$  = Número de dias no ano “y” que o animal está vivo na granja (números) ( $N_{da,y} = 365$ ).

- $N_{p,y}$  = Número de animais produzidos anualmente por tipo. Estes números também podem ser obtidos diretamente do sistema produtor. Uma hipótese que pode ser feita é a de que  $N_{LT,y} = N_{p,y}$ .
- $VS_{LT,y}$  = Sólidos Voláteis do rebanho “LT” interagindo o sistema de manejo de dejetos no ano “y” (com base em peso de matéria seca expresso em kg de matéria seca / tipo de animal / ano).
- $W_{padrão}$  = Peso padrão médio dos animais de uma população definida (dados provenientes do IPCC 2006). Igualmente a  $Bo$ ,  $W_{padrão}$  também varia de acordo com a genética (espécie) e a alimentação (dieta) de cada tipo de suíno.
- $W_{local}$  = Peso médio local dos animais de uma população definida (dados provenientes de pesagem na granja). Estes pesos também podem ser obtidos diretamente com o suinocultor; dono da granja por ocasião de uma visita técnica.
- $VS_{padrão}$  = Valor padrão para a taxa dos Sólidos Voláteis dos dejetos suínos por dia por tipo de animal. É expresso em Kg por animal em base de matéria seca por dia (Kg de matéria seca por animal por dia). Este parâmetro foi também obtido do Guia Nacional de Inventário dos Gases de Efeito Estufa, Volume 4, Capítulo 10, Anexo 10.A.2, Tabelas 10A-7 e 10A-8 (IPCC, 2006) e igualmente a  $Bo$ ,  $W_{padrão}$  também varia de acordo com a genética (espécie) e a alimentação (dieta) de cada tipo de suíno. Para os suínos de Corte, pela Tabela 10A-7,  $VS_{padrão}$  suínos de corte = 0,27 Kg por animal / dia e para os suínos de Reprodutores, pela Tabela 10A-8,  $VS_{padrão}$  suínos reprodutores = 0,50 Kg por animal / dia.
- $nd_y$  = Número de dias no ano em que o Sistema de Manejo de Dejetos Animais (SMDA) opera ( $nd_y = 365$ ).

A vazão mássica anual de biogás pode ser calculada pela equação (17).

$$Q_{\text{biogás}} = N_{\text{LT,y}} * VS_{\text{local}} * nd_y * MS\% * BSV \quad (17)$$

- Os demais parâmetros:  $N_{\text{LT,y}}$ ,  $VS_{\text{local}}$ ,  $nd_y$ ,  $MS\%$  são idênticos àqueles apresentados no cálculo de BEy.
- BSV é o valor da taxa de biogás por Sólidos Voláteis (BSV) e é igual a  $0,45 \text{ m}^3 \text{ biogás/ kg de SV}$ .

#### 4.5. ESTIMATIVA DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

As estimativas de custos para a produção de energia elétrica a partir de biogás foram realizadas utilizando-se as equações de (01) a (10) apresentadas anteriormente.

#### 4.6. ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE CRÉDITOS CARBONO

Na equação (19) a variável  $E_{\text{energia gerada}}$  é a energia gerada pelo funcionamento do sistema MWh/mês;  $H_{\text{operação}}$  é o número de horas em operação do sistema durante o mês de funcionamento e  $P_{\text{potência}}$  é a potência do sistema instalado de geração de energia elétrica em MW.

$$E_{\text{energia gerada}} = H_{\text{operação}} \cdot P_{\text{potência}} \quad (19)$$

Após o cálculo da energia gerada, pela equação (19), estima-se o número de créditos carbono de acordo com a equação (20). O valor calculado será correspondente ao número de toneladas de  $\text{CO}_2$  equivalentes que deixaram de ser lançadas na atmosfera, na forma de metano, proporcional à energia produzida.

As toneladas de carbono evitado podem ser calculadas através da equação (20):

$$TCO_2 = E_{gerada} \cdot FCO_2 \quad (20)$$

As variáveis da equação significam:  $TCO_2$  representa o total de  $CO_2$  equivalente evitado, em toneladas e  $FCO_2$  corresponde ao fator de intensidade de carbono, que pode ser assumido como 0,5  $tCO_2eq$  por MWh de energia gerada.

Conhecendo-se os valores praticados no mercado para a emissão de créditos carbono é possível determinar o valor, em dólares americanos, dos certificados obtidos.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE BIOGÁS DE BIODIGESTORES

#### 5.1.1. Medição da Produção de Biogás em Tanque Aberto

A primeira etapa do trabalho consistiu em construir um sistema de coleta de biogás produzido em esterqueiras a céu aberto. A esterqueira escolhida está apresentada na Figura 12. A propriedade rural selecionada recebe cerca de 500 suínos por lote, os quais permanecem no local por um período de, aproximadamente, 90 dias e, posteriormente, são entregues para o frigorífico.



**Figura 12** – Esterqueira a Céu Aberto.

O sistema de coleta proposto consistia de uma lona com mangueiras plásticas que conduziria o biogás até um equipamento de medição. O primeiro problema encontrado foi o diâmetro da esterqueira: 9,5 metros. Não foi possível encontrar na

região lonas que pudessem cobrir totalmente a esterqueira. A solução encontrada foi a de realizar uma emenda entre lonas a fim de cobrir toda a esterqueira. Procedeu-se então da seguinte forma: foram utilizados dois pedaços de lona preta com 6x12 metros e 8x12 metros respectivamente, que foram colados com cola Araldite e fita adesiva transparente larga.

Com ventil de pneu de caminhão (colados na mesma metodologia) instalou-se em curvas de plástico as mangueiras que se uniam restando apenas uma mangueira que seria conectada ao medidor de vazão.

A figura 13 demonstra a metodologia utilizada na colagem do ventil.



**Figura 13** - Metodologia utilizada na colagem do ventil.

A esterqueira foi protegida com a lona, utilizou-se muita terra ao redor da mesma para que não houvesse a entrada de ar, proporcionando uma condição anaeróbia para as bactérias responsáveis pela biodigestão. A Figura 14 ilustra a esterqueira coberta com a lona.





**Figura 14** - Esterqueira depois de coberta.

Infelizmente todo o trabalho foi perdido, pois a emenda entre as lonas não suportou o esforço físico. A alternativa seguinte foi a de encontrar uma propriedade com um biodigestor em funcionamento.

#### 5.1.2. Medição da Produção de Biogás em Biodigestores

A segunda tentativa para medição do biogás produzido foi realizada em uma propriedade que possui um biodigestor em funcionamento. A Figura 15 ilustra o biodigestor em que foram realizadas as medições tanto da composição quanto do biogás produzido. A propriedade possui 1000 suínos na fase de engorda, porém os dejetos de apenas 500 suínos são destinados à digestão anaeróbia.



**Figura 15** – Biodigestor Utilizado para a Realização da Determinação da Concentração e do Biogás Produzido.

Na propriedade o biogás contribui no aspecto econômico, pois já é utilizado para cocção há 28 anos. Segundo o produtor, utilizava-se dois botijões mensalmente, ou seja, aproximadamente 672 botijões deixaram de ser comprados.

## 5.2. RESULTADO DA MEDIÇÃO DA VAZÃO DE BIOGÁS

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos durante a determinação da vazão de biogás produzido no biodigestor. As vazões foram calculadas e convertidas para as condições padrão utilizado as equações 11 e 12, respectivamente.

Tabela 1 – Vazão de biogás produzido no biodigestor

Medições no dia 1		Medições no dia 2		Medições no dia 3		Desvio
T (°C)	Q <sub>biogás padrão</sub>	T (°C)	Q <sub>biogás padrão</sub>	T (°C)	Q <sub>biogás padrão</sub>	

	(NL/h)		(NL/h)		(NL/h)	média (NL/h)	Padrão
17,0	201,4	15,0	171,0	15,0	106,1	159,5	48,7
19,0	198,8	18,0	159,5	16,0	120,1	159,5	39,3
21,0	223,7	20,0	232,3	17,0	160,6	205,5	39,2
24,0	155,1	23,0	163,6	18,0	166,1	161,6	5,8
28,0	185,8	27,0	194,7	19,0	168,6	183,0	13,2
29,0	180,7	28,0	241,3	19,0	158,5	193,5	42,9
30,0	228,9	30,0	204,6	22,0	170,1	201,2	29,6
37,0	191,8	35,0	197,5	23,0	150,6	180,0	25,6
39,0	190,6	37,0	187,6	23,0	170,4	182,9	10,9
39,0	190,2	38,0	198,5	25,0	212,1	200,3	11,0
41,0	248,0	40,0	236,2	26,0	242,3	242,2	5,9
40,0	307,9	41,0	262,7	27,0	245,2	271,9	32,4

De acordo com os valores obtidos, a produção média de biogás no biodigestor foi de 195,1 L/h com um desvio padrão de 40,75 L/h. Sendo assim, A produção média mensal de biogás é igual a 140,5 m<sup>3</sup>.

As medições foram realizadas em dias alternados. Entretanto, como foi verificado, parte do biogás não é coletado pelo sistema, pois o biodigestor possui uma tecnologia antiga. Portanto, o valor apresentado representa uma medida inferior ao real produzido na propriedade.

### 5.3. COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS OBTIDA POR ANÁLISE

As amostras de biogás coletadas no biodigestor foram analisadas por cromatografia gasosa e com o auxílio do Kit Biogás, da Embrapa. Os resultados obtidos pela análise cromatográfica são apresentados na Tabela 2. Na Tabela 3 são apresentados os resultados da análise com o uso do Kit Biogás para as amostras A, B, C e D.

Tabela 2 – Composição do biogás analisado por cromatografia

	Amostra 1	Amostra 2	Média	Desvio padrão
Componente	%	%	%	%
N <sub>2</sub>	3,09	3,70	3,39	0,43
CH <sub>4</sub>	82,94	79,77	81,35	2,24
CO <sub>2</sub>	13,80	16,30	15,05	1,77
H <sub>2</sub> S	0,17	0,23	0,20	0,04

Tabela 3 – Composição do biogás analisado com o uso do kit Biogás

	Amostra A	Amostra B	Amostra C	Amostra D	Média	Desvio padrão
Componente	%	%	%	%	%	%
CH <sub>4</sub>	70,0	67,5	68,0	90,0	73,88	10,80
CO <sub>2</sub>	30,0	32,5	32,0	10,0	26,13	10,80

Embora as duas tabelas apresentem resultados diferentes quanto a composição do biogás, o método do Kit não contabiliza separadamente a presença do nitrogênio. Como o resultado é calculado para o metano e por diferença encontrava-se o dióxido de carbono, na verdade estão sendo agrupados os 3 gases restantes.

## 5.4. RESULTADOS DAS ESTIMATIVAS DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS

### 5.4.1. Resultados da Produção pelo Modelo CENBIO

De acordo com a equação (13) tem-se:

- Tempo = 365 dias
- N de cabeças = 500 suínos
- Et = Esterco total = 2,25 kg esterco/(dia.suíno) (para suínos de acordo com CENBIO (2004))
- PB = Produção de biogás = 0,086 kg biogás / kg esterco (para suínos de acordo com CENBIO (2004)).

$$Q_{\text{biogás}} = \text{tempo} \times (\text{número de suínos}) \times Et \times PB = 35.313,75 \text{ m}^3/\text{ano}$$

A dificuldade de utilizar o modelo CENBIO é que não são consideradas as particularidades da composição dos dejetos. Se os dejetos são de unidades produtoras de leitões, ciclos completos ou maternidades. As composições dos dejetos influenciam significativamente na produção de biogás.

### 5.4.2. Resultados da Produção de biogás pelo Modelo IPCC

A tabela 04 apresenta o resultado para o cálculo do valor de sólidos voláteis (VS) necessário para a estimativa da vazão de biogás.

Tabela 04 – Cálculo do valor de Sólidos Voláteis

Ciclo de criação	$W_{\text{local}}$ (peso médio local por tipo de suíno)	$W_{\text{padrão}}$ (peso padrão)	$VS_{\text{padrão}}$ (sólidos voláteis padrão)	$nd_y$ (número de dias no ano que o SMDA é operado)	$VS_{LT,y}$ (kg SV / ano)
suínos em terminação	69	46	0,27	365	147,825

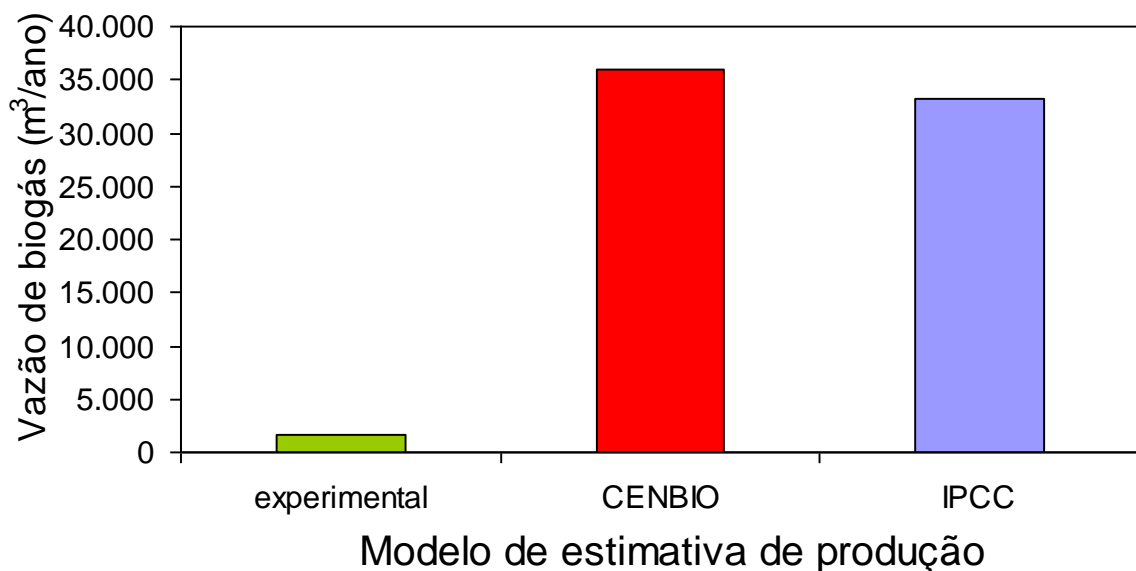
Tabela 05 – Estimativa da produção anual de biogás pelo modelo IPCC

Ciclo de criação	$N_{LT,y}$	VS local (kg SV/dia)	$nd_y$ (número de dias no ano que o SMDA é operado)	MS%	BVS ( $m^3$ biogás/kg VS)	$Q_{biogás}$ ( $m^3$ biogás/ano)
suínos em terminação	500	0,405	365	1	0,45	33.260,63

Uma das vantagens deste modelo é a classificação do biogás produzido de acordo com as características da criação de animais (fêmeas, creche, etc).

### 5.5. AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO ESTIMADA E REAL DE BIOGÁS

A partir dos resultados obtidos dos modelos de simulação e da medição experimental, foi possível comparar as estimativas.



**Figura 16** – Comparação da vazão de biogás obtida experimentalmente com modelos teóricos

Essa discrepância entre os resultados é um dos fatores que levam a inviabilidades de empreendimentos que objetivam obter créditos carbono ou produzir energia elétrica. Os novos empreendimentos são projetados em função de estimativas de produção de biogás por modelos. Mas como pode-se verificar pelos

resultados obtidos, as estimativas são, neste caso, muito superiores aos valores reais de produção de biogás.

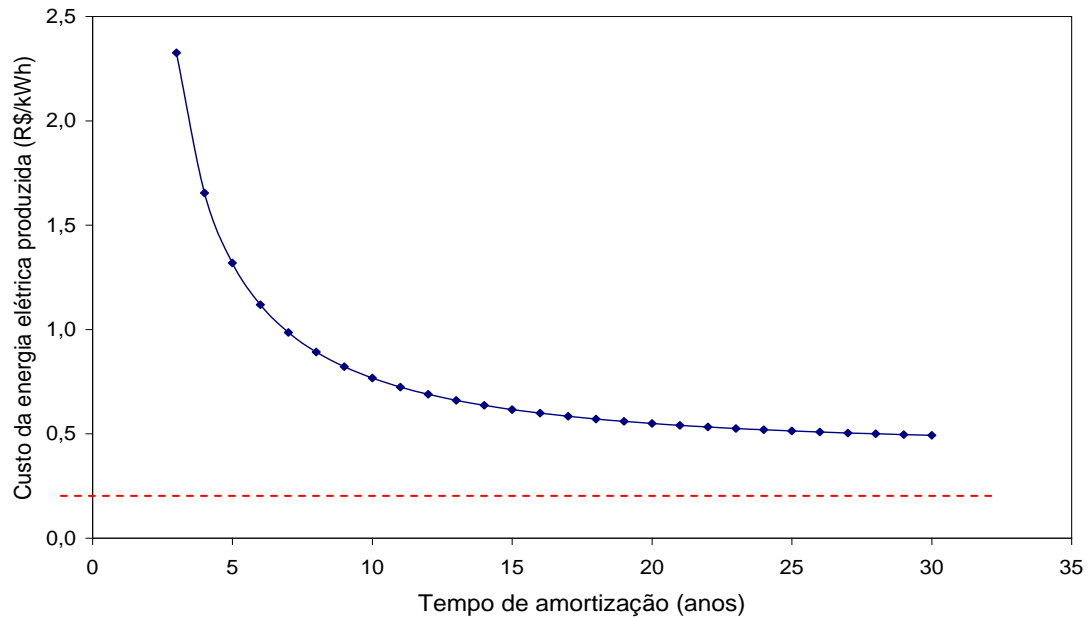
## 5.6. RESULTADOS DAS ESTIMATIVAS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA POR CO-GERAÇÃO

Para realizar os cálculos do custo de energia elétrica foram considerados os valores apresentados na Tabela 06.

Tabela 06 – Definição das variáveis utilizadas no cálculo dos custos da energia elétrica gerada por biogás

Variável	Valor	Unidade	Descrição
n	2 - 30	anos	Tempo de retorno esperado para o investimento (amortização)
j	8	% / ano	Taxa de desconto usual de financiamentos do governo
OM	4	% /ano	Custo com organização e manutenção
t	365	dias	Período de um ano
CIB	75000	reais	Custo de investimento no biodigestor
CIG	20000	reais	Custo de investimento no gerador
POT	36	kW	Potência nominal da planta em kW
Disp	2	horas / dia	Disponibilidade diária da planta = horas por dia trabalhada pelo conjunto moto gerador
PAB	1.686	m <sup>3</sup> /ano	Produção anual de biogás real
CNB	4,6	m <sup>3</sup> /dia	Consumo de biogás pelo conjunto moto-gerador por dia

A Figura 17 ilustra os resultados para o custo de produção da energia elétrica, por kWh, utilizando-se o biogás em função do tempo de amortização.



**Figura 17** – Custo da energia elétrica produzida, por kWh, em função do tempo de amortização.

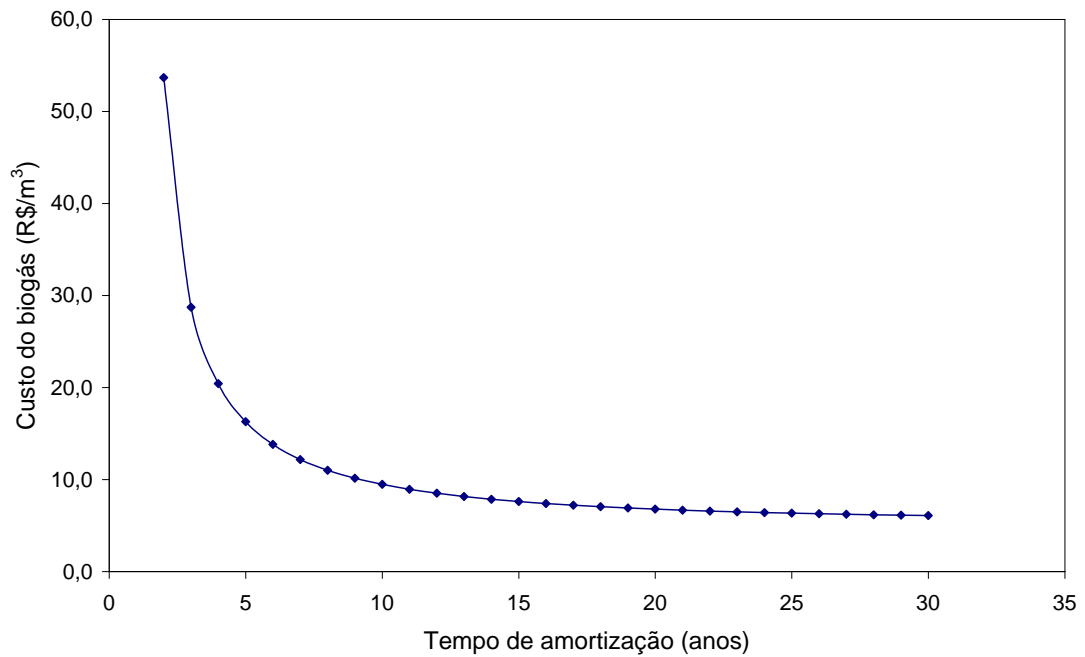
O custo da energia elétrica, produzida pelo sistema motor gerador, aproxima-se do valor de 0,50 reais após 15 anos de retorno. E este valor parece manter-se constante até para simulações com maior tempo de amortização. Isto se deve à baixa produção de biogás e ao tempo de operação.

O valor cobrado pela concessionária de energia é de 0,18448 reais por kWh (valor obtido da própria conta de energia da propriedade). Portanto, no atual sistema da propriedade, torna-se inviável a implantação de um sistema de geração de energia elétrica utilizando-se o biogás.

Entretanto, não se deve menosprezar as vantagens do processo de tratamento de dejetos para o meio ambiente.

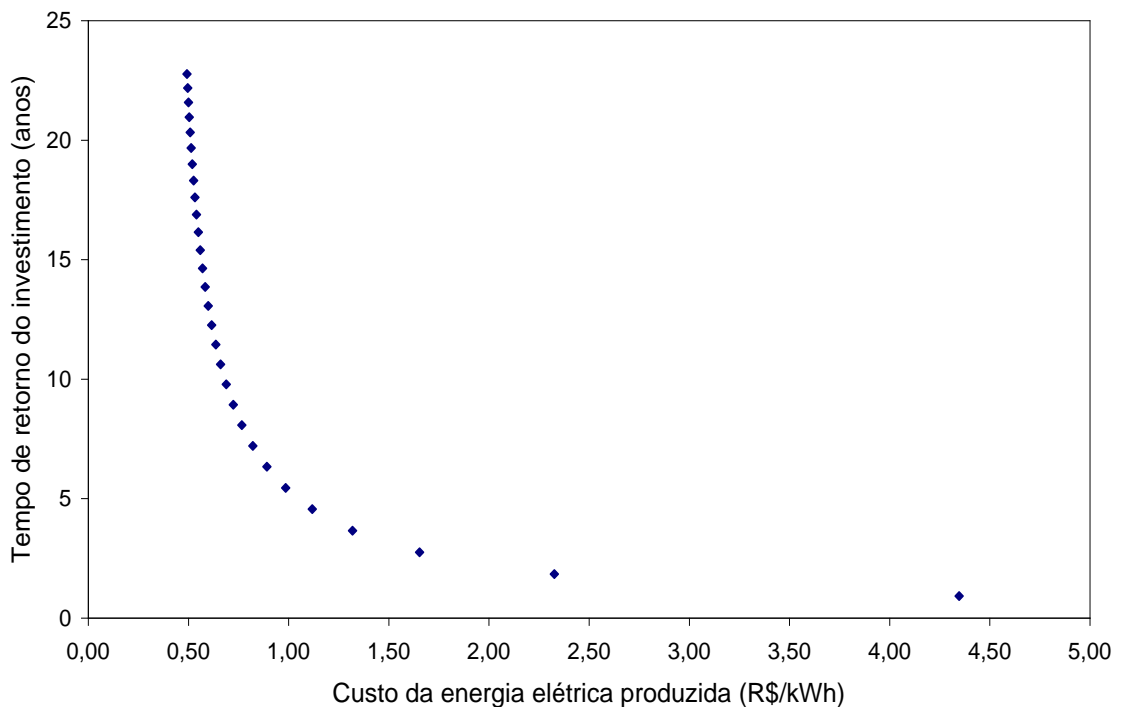
A figura 18 depara o custo do biogás produzido em função do tempo de amortização.





**Figura 18** – Custo do biogás em função do tempo de amortização.

O tempo de retorno do sistema em função do custo da energia elétrica produzida, pode ser observado na figura 19.



**Figura 19** – Tempo de retorno do investimento em função do custo da energia elétrica produzida.

Considerando os resultados apresentados na Figura 19 e os valores da energia cobrada pela concessionária de energia do Paraná, no horário de ponta,

estima-se um tempo de retorno do investimento maior do que 15 anos. Ou seja, considerando o consumo em kWh em duas horas de operação do sistema. A solução para o sistema começar a ter atratividade econômica é o aumento da produção de biogás. Essa ampliação é possível uma vez que apenas parte dos dejetos é enviada para o biodigestor. Como o tempo de operação do sistema é de apenas 2 horas por dia em função da produção de biogás, o mais interessante seria utilizar o sistema no horário de ponta. O horário de ponta é das 18 às 21h.

A principal variável limitante da operacionalidade do processo é o tempo de operação do sistema motor gerador devido a baixa produção real de biogás na propriedade.

## 5.7. RESULTADOS DAS ESTIMATIVAS DE CRÉDITOS CARBONO

Para realizar as estimativas dos créditos carbono foram considerados os valores apresentados na Tabela 07.

Tabela 07 – Definição das variáveis utilizadas na estimativa de créditos carbono

Descrição	Valor	Unidade
Tempo de vida útil da planta	30	anos
Potência nominal da planta em kW	36	kW
Disponibilidade diária da planta	2	horas / dia
Fator de intensidade de carbono	0,5	tCO <sub>2</sub> eq /MWh
Valor de certificado de emissões evitadas	12	U\$\$/tCO <sub>2</sub> eq

$$E_{\text{energia gerada}} = H_{\text{operação}} \cdot P_{\text{potência}} = 2 \text{ h.dia}^{-1} \cdot 365 \text{ dias.ano}^{-1} \cdot 36 \text{ kW}$$

$$E_{\text{energia gerada}} = 26.280 \text{ kWh.ano}^{-1} = 26,28 \text{ MWh.ano}^{-1}$$

$$\text{TCO}_2 = E_{\text{gerada}} \cdot \text{FCO}_2 = 26,28 \text{ MWh.ano}^{-1} \cdot 0,5 \text{ tCO}_2 \text{ eq} \cdot \text{MWh}^{-1}$$

$$\text{TCO}_2 = 13,14 \text{ tCO}_2 \text{ eq} \cdot \text{ano}^{-1}$$

O valor de certificados gerados por ano será de:

$$\text{Valor de certificados gerados} = 13,14 \text{ tCO}_2 \text{ eq} \cdot \text{ano}^{-1} \cdot 12 \text{ U}\$\$. \text{tCO}_2 \text{ eq}^{-1}$$

Valor de certificados gerados = 157,68 U\$\$ . ano<sup>-1</sup>

Considerando uma vida útil de 30 anos, o valor de créditos para a propriedade rural em estudo será de:

**Valor de certificados emitidos em 30 anos = 4.730,7 U\$\$**

## 6. CONCLUSÃO

O emprego do biogás pode proporcionar benefícios ambientais, econômicos e sociais em uma propriedade rural. A geração de energia a partir desta fonte renovável é um campo muito promissor.

Para o estudo, analisou-se a composição do biogás por cromatografia e pelo método Kit Biogás. Constatou-se que a composição e a vazão sofrem modificações no decorrer do tempo em função de condições climáticas e composição dos dejetos.

Verificou-se durante as medições, que a tecnologia utilizada na propriedade apresenta algumas deficiências e parte do biogás não é coletado pelo sistema. Portanto, o valor apresentado representa uma medida inferior ao real produzido na propriedade.

A produção média mensal de biogás é igual a 140,5 m<sup>3</sup>, valor significativamente reduzido quando comparado com os resultados estimados pelo modelo CENBIO e IPCC. Contudo essa discrepância entre os resultados nos permite compreender que esse é um dos fatores que levam a inviabilidades de empreendimentos que objetivam obter créditos carbono ou produzir energia elétrica. Os novos empreendimentos são projetados em função de estimativas de produção de biogás por modelos. Mas como pode-se averiguar, as estimativas são, neste caso, muito superiores aos valores reais de produção de biogás.

Considerando os custos da energia elétrica produzida pelo sistema motor gerador, estima-se um tempo de retorno para a amortização maior do que 15 anos e à longo prazo o valor cobrado pela concessionária de energia é mais aceitável financeiramente. A principal variável limitante da operacionalidade do processo é o tempo de operação do sistema motor gerador devido à baixa produção real de biogás na propriedade.

A realização do experimento é contundente para a estimativa de rendimentos da venda de créditos de carbono. A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que o valor de certificados emitidos em 30 anos é de aproximadamente U\$\$ 4.730,7 e não atinge níveis satisfatórios.

No entanto, no aspecto ambiental, a biodigestão dos dejetos já é vantajosa, pois evita a contaminação da água, ar e solo. Na propriedade o biogás contribui no aspecto econômico, pois é utilizado para cocção há 28 anos.

A implantação de um sistema de geração de energia elétrica utilizando-se o biogás na propriedade torna-se inviável devido ao custo de produção. A solução para o sistema começar a ter mais atratividade econômica é o aumento da produção de biogás. Essa ampliação é possível uma vez que apenas parte dos dejetos é enviada para o biodigestor.

## 7. REFERÊNCIAS

ABIPECS. Associação Brasileira Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína. **Relatório 2009/2010**. Disponível em: <<http://www.abipecs.org.br/estatistica>> Acesso em: 28/09/2010.

AMARAL, F. L. M. **Biodigestão anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos: um panorama tecnológico atual**. 2004. 108 p. Dissertação (Mestrado Tecnologia Ambiental)- Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo, São Paulo, 2004.

BARANCELLI, G. T. **Estudo da implantação de um biodigestor para produção de biogás e biofertilizante a partir de rejeitos da suinocultura**. 2007. 53f. Monografia (Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2007.

BARRERA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. São Paulo: Ícone, 1993. p 106.

BARTHOLOMEU D.B. **Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras**. 2006. 164p. Tese de Doutorado em Economia Aplicada. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP. 2006.

BASSETTO, L. I.; GUELBERT, T. F.; KOVALESKI, J. L.; LESZCZYNSKI, S. A. C.; LIMA, I. A. Crédito de carbono: uma moeda ambiental como fator de motivação econômica: In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26., 2006, Fortaleza, CE. **Anais eletrônicos...** Fortaleza, CE: ABEPRO, 2006. Disponível em: <[www.pg.utfpr.edu.br/ppgep/Ebook/e-book2006/Artigos/16.pdf](http://www.pg.utfpr.edu.br/ppgep/Ebook/e-book2006/Artigos/16.pdf)> Acesso em: 29 abr. 2010.

BECK, A. M. O biogás de suínos como alternativa energética sustentável. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27., 2007. Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos...** Foz do Iguaçu: ABEPRO, 2007. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGERP2007\\_TR650481\\_0089.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGERP2007_TR650481_0089.pdf)> Acesso em: 25 abr. 2010.

BRASIL. CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 001, de 23 de Janeiro de 1986: diretrizes gerais para elaboração do Estudo de Impacto Ambiental. Disponível em:<[http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res\\_86/res\\_0186.html](http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res_86/res_0186.html)> Acesso em: 26/02/2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução SEMA nº 031 de 24 de agosto de 1998 art. 96 -104.

CASSINI, S. T.; **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. Vitória, Espírito Santo. 2003.

CENAMO, M. C. **O mercado de carbono e as oportunidades para o agronegócio brasileiro**. Piracicaba: CEPEA/DEAS/ESALQ/USP, Set. 2005. 4 p. Disponível em: <[http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/protocolo\\_quioto.pdf](http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/protocolo_quioto.pdf)> Acesso em: 19/03/2011.

CMMAD, Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e o Desenvolvimento. **Nosso Futuro Comum** (*Informe Brundtland*). FGV: Rio de Janeiro: 1991.

COELHO, S. T.; MONTEIRO, M. B.; KARNIOL, M. R.; GHILARDI, A. **Atlas de Bioenergia do Brasil**. Projeto Fortalecimento Institucional do CENBIO. São Paulo. 2008. 57p.

COMASTRI FILHO, J. A. **Biogás, independência energética do Pantanal Matogrossense**. EMBRAPA. UEPAE de Corumbá. Circular Técnica, 9. Corumbá, MS. 1981. 53p.

CQNUMC. Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança de Clima. **Protocolo de Kyoto à Convenção sobre Mudança do Clima, 1997**. Editado e traduzido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/clima/quioto/protocolo.htm>> acesso em: 15/ 06/2010.

CQNUMC. Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança de Clima. **Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo**. Última compilação do site da CQNUMC: 31 de janeiro de 2011. Disponível em: < [http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0019/19545.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0019/19545.pdf)> Acesso em: 06/12/2010.

DARTORA, V.; PERDOMO, C.C.; TUMELERO, I. L. **Manejo de dejetos suínos**. Porto Alegre, RS: Embrapa, 1998. 32 p. (EMBRAPA - Suínos e Aves. ANO 7: BIPERS nº 11).

DIESEL, R; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos**. Concórdia, SC: EMBRAPA, 2002. 31p. (EMBRAPA - Suínos e Aves. ANO 10: BIPERS nº 14).

GARCIA, L. M. **Dejetos suínos como fonte protéica alternativa para alevinos de piaçu (*Leporinus macrocephalus*): reciclagem de nutrientes e diminuição do impacto ambiental no entorno das criações de suínos**. 2004, 70f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) - Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2004.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia e meio ambiente no Brasil**. Revista de Estudos Avançados nº 59. 2006. 14 p.

GONÇALVES, V. K.O Mercado de Carbono e a Suinocultura no Oeste Catarinense. In: Encontro Nacional da Anppas, 4., 2008, Brasília, DF. **Anais eletrônicos...** Brasília, DF. 2008.

GOOGLE MAPS. Disponível em: <<http://maps.google.com.br>> Acesso em: 05/04/2011.

GREENPEACE. **Dossiê Energia Positiva para o Brasil**. Brasília, DF. 2004.77p. Disponível em: <[www.scribd.com/.../Dossie-Energia-2004-Greenpeace](http://www.scribd.com/.../Dossie-Energia-2004-Greenpeace)> Acesso em: 11 Mai. 2010.

HIGARASHI, M.M.; OLIVEIRA, P. A. V.; KUNZ, A.; RANGEL, K. A.; MENDES, G. L.; MATEI, R. M. **Avaliação de um sistema compacto para o tratamento de efluentes da suinocultura**. Concórdia: Embrapa aves e suínos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento. 2004. 26 p.

ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade. **Manual para aproveitamento do biogás: volume 1, aterros sanitários**. Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2009. 82p.

IPARDES. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Caderno Estatístico do Município de Missal**. 2009. 27 p. Disponível em: <[www.ipardes.gov.br](http://www.ipardes.gov.br)> Acesso em: 15/04/2011.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Chapter 10: Emissions from Livestock and Manure Management. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. 2006. 87p.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007 – The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC**. 2007. Disponível em: <<http://ipccwg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>> acessado em: 24/06/2010.

\_\_\_\_\_. **Resúmenes de los Grupos de trabajo: Resumen para responsables de políticas**. Informe de síntesis. 2001. 86p.

JURAS, I. A. G. M. **Créditos de carbono**. Brasília: Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados. 2009. Disponível em: <<http://bd.camara.gov.br>> acesso em: 06/06/2010.

KONZEN, E. A. Biodigestores para tratamento de dejetos suínos. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE BIODIGESTORES PARA TRATAMENTO DE DEJETOS DE SUÍNOS E USO DE BIOGÁS, 2006, Santa Catarina. **Anais...** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. Biodigestor para o tratamento de dejetos suínos: Influência da temperatura ambiente. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2005.

LIMA, P. C. R. **Biogás da suinocultura: Uma importante fonte de geração de energia**. Biblioteca digital da Câmara dos Deputados. Brasília, DF. 2007. Disponível em: <<http://bd.camara.gov.br>> Acesso em: 03 Mai. 2010.

LOBO, D. S.; PEREIRA, S. M. **Geração de bioenergia utilizando dejetos suínos: estudo das potencialidades do município de Toledo - Paraná**. Rio de Janeiro. 2009.12 p.



MARQUEZ, E.; NOVAIS, J.; SANTOS, A.; OLIVEIRA, C.; ALMEIDA, R.; BITTENCOURT, P. **Projeto de construções rurais: Instalações para suínos**. Vitória da Conquista. 2009.

MEDEIROS, M. B.; LOPES, J. S. **Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola**. Bahia Agrícola, v. 7, n. 3, p. 24-26, nov. 2006.

MIGUEZ, J. D. G.; FILHO, H. M. O.; MOZZER, G. B.; MAGALHÃES, D. A. **Ações de mitigação das emissões no Brasil**. Brasília: Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados. Plenarium, v.5, n.5, p.128 – 139. 2008. Disponível em: <<http://bd.camara.gov.br>> acesso em: 06/ 06/2010.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011**. Secretaria de Produção e Agroenergia. 2. ed. rev. Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 110 p.

OLIVEIRA, G. S.; SILVA, N. F.; HENRIQUES, R. **Mudanças climáticas: ensino fundamental e médio**. Brasília: MEC, SEB: MCT, AEB, 2009. 348 páginas. Coleção explorando o ensino. V 13.

OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. **Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos**. Concórdia: Embrapa Aves e suínos. 2006. 42p.

OLIVEIRA, P. A. V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1993. 188p.

OLIVER, A. P. M. **Manual de tratamento em biodigestão**. Instituto Winrock. 2008. 23p.

PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – estudo de caso**. 2006. 153 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

PERDOMO, C.C.; LIMA, G. J. M. M.; NONES, K. Suinocultura e meio ambiente. In: Seminário Nacional de Desenvolvimento da Suinocultura, 9, 2001, Gramado. **Anais...** Gramado: Embrapa Suínos e Aves, 2001. 17p.

PEREIRA, M. M. A. M.; NOSSA, V. Créditos de Carbono e Reconhecimento da Receita: o caso de uma Operadora de Aterro Sanitário. In: **Encontro da ANPAD**. Brasília, 2005.

PRA, M. A. D.; et al. **Compostagem de dejetos líquidos de suínos**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 25 p. Disponível em: <[www.cnpms.embrapa.br/Publicações/publica/2005/.../Doc\\_45.pdf](http://www.cnpms.embrapa.br/Publicações/publica/2005/.../Doc_45.pdf)> Acesso em: 15 Abril. 2010.

RIBEIRO, M. S. **O tratamento contábil dos créditos de carbono.** Ribeirão Preto. 2005. 90f. Tese de livre docência- Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo.

SCHULTZ, G. **Boas Práticas Ambientais na Suinocultura.** Porto Alegre: SEBRAE/RS, 2007. 44 p. Disponível em: <[www.sebrae-rs.com.br](http://www.sebrae-rs.com.br)> Acesso em: 03 Abri. 2010.

SEGRANFREDO, M. A. Dejetos fermentados em biodigestores e seu impacto ambiental no uso como fertilizante do solo. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE BIODIGESTORES PARA TRATAMENTO DE DEJETOS DE SUÍNOS E USO DE BIOGÁS, 2006, Santa Catarina. Anais... Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006.

SILVA, L. L.; ALVES, M. S.; SILVA V. C.; ROCHA, A. L. Princípios de Termoelétricas em Pequenas Propriedades Rurais. In: KEY ELEMENTS FOR A SUSTAINABLE WORLD: ENERGY, WATER AND CLIMATE CHANGE. 2., 2009, São Paulo. **Anais...**São Paulo: Segundo Workshop Internacional, 2009.

SILVA, R. C. P. A. **Pecuária paranaense em foco.** SEAB/ DERAL/ DCA. Curitiba. 2003. 62 p.

SOUZA, S.N.M., PEREIRA, W.C., NOGUEIRA, C.E.C., PAVAN, A.A., SORDI, A. **Custo da eletricidade em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura.** *Acta Scientiarum Technology.* Maringá, v.26, n.2, p. 127-133, 2004.

SINOTTI, A. P. D. S. **Avaliação Do Volume De Dejetos E Da Carga De Poluentes Produzidos Por Suíno Nas Diferentes Fases Do Ciclo Criatório.** 2005. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2005.

ZANETTE, A. L. **Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil.** 2009. 97 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2009.

## 8. ANEXOS

### Determinação de Ácido Sulfídrico (H<sub>2</sub>S)

- a) Em uma cubeta de plástico de 50 ml, adicionar 10 ml de água deionizada e 2 gotas da solução Pré- tratamento 1 e agitar a cubeta;
- b) Com a seringa para gás sulfídrico, conferir se a mangueira da seringa está aberta e aspirar esta solução da cubeta até a marca (5 ml);
- c) Transferir toda a solução restante para o tubo do biofoto e separa como prova em branco;
- d) Abrir o amostrador de biogás para sair um pouco de gás e conectar na mangueira da seringa;
- e) Aspira-se lentamente na seringa 5 ml de biogás;
- f) Com o estrangulador, fechar a mangueira da seringa e do amostrador de biogás;
- g) Desconectar as mangueiras que ligam a seringa e o amostrador;
- h) Agitar a seringa por aproximadamente 2 minutos;
- i) Transferir a solução para o tubo do biofoto para análise colorimétrica.

### Análise Colorimétrica

- a) Fazer a prova em branco paralelamente a amostra;
- b) Adicionar 5 gotas do reagente Sulfeto 1 no tubo do biofoto com a amostra e agitar;
- c) Adicionar 2 gotas do reagente Sulfeto 2 e agitar em seguida;
- d) Aguardar o tempo de reação de 10 minutos;
- e) Enquanto isso, ligar o equipamento e selecionar a curva de sulfeto utilizando as setas (se 5 mL de biogás utilizar a faixa 1, se 3 mL de biogás utilizar a faixa 2);
- f) Pressionar a tecla “MEDE”. A mensagem “ curva não calibrada” aparecerá no display seguida da mensagem “coloque amostra para calibração”;
- g) Ao completar o tempo de reação, limpar a parte externa do tubo com papel absorvente e posicionar corretamente a prova em branco no biofoto;

- h) Fechar o poço com a prova em branco e pressionar a tecla “MEDE”. O equipamento fará a calibração. Aguarde a mensagem “concluído” e “coloque amostra para medição”;
- i) Fazer a leitura das amostras, pressionando a tecla “MEDE”;
- j) O resultado se refere à concentração de gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S) em ppmV.

### **Determinação de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)**

Utilizar o suporte para determinação de gás carbônico no biogás procedendo da seguinte forma:

- a) Com o suporte na posição horizontal, verificar se as seringas e as mangueiras estão corretamente conectadas. Testar se a seringa de vidro está deslizando (com a conexão na posição “B”). Caso não estiver, passar uma finíssima camada de vaselina no êmbolo da seringa de vidro. Voltar a conexão para a posição “A”, para evitar que o êmbolo escorregue.
- b) A seringa de plástico é desconectada e são coletados 5 ml da solução pré-tratamento 2;
- c) A seguir, a seringa é recolocada na mesma posição no suporte;
- d) Abrir o amostrador para sair um pouco de biogás e conectar imediatamente no suporte;
- e) Abrir a entrada da seringa de vidro, girando a conexão para a posição “B” indicada no suporte;
- f) Com a seringa de vidro, sugar e descartar de 2 a 3 vezes o biogás;
- g) A seguir coletar os 20 ml de biogás, sugando com a seringa de vidro;
- h) Com auxílio do estrangulador, fechar o amostrador e a entrada da seringa. A seguir, a conexão entre as seringas é aberta, girando-se para a posição “A”;
- i) Transferir o biogás coletado na seringa de vidro para a seringa de plástico com a solução, puxando o êmbolo da seringa de plástico. Caso seja necessário, ajudar na transferência do biogás empurrando a seringa de vidro;
- j) Ao terminar a transferência, não soltar a seringa de vidro, mas fechar imediatamente a conexão, girando-a para a posição “B” e evitando que a solução seja transferida para a seringa de vidro;

- k) Agitar com cuidado o conjunto por 2 minutos;
- l) Posicionar o suporte na posição vertical com a seringa de plástico para baixo. Em seguida, abrir a conexão entre as seringas girando-se a válvula para a posição "A".
- m) Transferir todo o gás da seringa de plástico para a seringa de vidro, empurrando o êmbolo da seringa de plástico;
- n) Ao final da passagem do gás, se necessário, inclinar o suporte para frente, de maneira a não ficar gás na seringa de plástico, com muito cuidado para não passar solução.
- o) Ao término da transferência, fechar a conexão girando a torneira para a posição "B".
- p) Fazer a leitura do volume de gás utilizando a escala auxiliar no suporte, que resulta na porcentagem de gás carbônico.

#### **Determinação de Metano (CH<sub>4</sub>)**

A diferença entre a porcentagem de gás carbônico na composição do biogás é o resultado da porcentagem do gás metano presente no mesmo ( por exemplo: CO<sub>2</sub>= 30% e CH<sub>4</sub> = 70%).