

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO DO BIOGÁS E  
BIOFERTILIZANTE PRODUZIDO POR BIODIGESTÃO ANAERÓBIA:  
ESTUDO DE CASO EM UNIDADE BIOINTEGRADA**

**RICARDO GHANTOUS CERVI**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU-SP  
Agosto – 2009

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO DO BIOGÁS E  
BIOFERTILIZANTE PRODUZIDO POR BIODIGESTÃO ANAERÓBIA:  
ESTUDO DE CASO EM UNIDADE BIOINTEGRADA**

**RICARDO GHANTOUS CERVI**

**Orientadora: Profa. Dra. Maura Seiko Tsutsui Esperancini**

**Co-orientador: Prof. Dr. Osmar de Carvalho Bueno**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU-SP  
Agosto – 2009

C419a Cervi, Ricardo Ghantous, 1980-  
Avaliação econômica do aproveitamento do biogás e biofertilizante produzido por biodigestão anaeróbia : estudo de caso em unidade biointegrada / Ricardo Ghantous Cervi.  
- Botucatu : [s.n.], 2009.

viii, 57 f. : il., color., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2009

Orientador: Maura Seiko Tsutsui Esperancini

Co-orientador: Osmar de Carvalho Bueno

Inclui bibliografia

1. Biodigestores. 2. Biogás. 3. Energia elétrica. I. Esperancini, Maura Seiko Tsutsui. II. Bueno, Osmar de Carvalho. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. IV. Título.

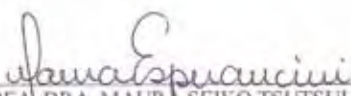
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU  
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "AVALIAÇÃO ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO DO BIOGÁS  
E BIOFERTILIZANTE PRODUZIDO POR BIODIGESTÃO ANAERÓBIA:  
ESTUDO DE CASO EM UNIDADE BIOINTEGRADA"

ALUNO: RICARDO GHANTOUS CERVI

ORIENTADORA: PROFA. DRA. MAURA SEIKO TSUTSUI ESPERANCINI

Aprovado pela Comissão Examinadora

  
PROFA. DRA. MAURA SEIKO TSUTSUI ESPERANCINI

  
PROF. DR. MARCO ANTONIO MARTIN BIAGGIONI

  
PROF. DR. FERNANDO COLEN

Data da Realização: 17 de agosto de 2009.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me dado à vida e saúde para realização deste trabalho;

Aos meus pais Mário e Rahile, irmãos Carla e Rodrigo e a minha namorada Adriana, pelo apoio, carinho, e principalmente pelo incondicional amor que sempre me deram;

Aos meus amigos e familiares pela amizade e felicidade que sempre me proporcionaram;

A minha “eterna” professora de inglês e amiga, Magda Saiuri Kimoto, pela amizade e ensinamentos em todos os momentos da minha vida;

Aos meus amigos da Pós-Graduação Adriano “Mineiro”, Alessandro, Ana Paula, Bruna, Cristiane, Danilo, Edilene, Edson, Estelita, Fernando, Gerson, Leonel, Maria, Marísia, Rafael, Rodrigo, Roni, Samir, e Neiva, pelo companheirismo e apoio nas disciplinas;

À minha orientadora Profa. Dra. Maura Seiko Tsutsui Esperancini, pela amizade, ensinamentos e principalmente por acreditar em mim, meu sincero agradecimento será por toda minha vida;

Ao Prof. Dr. Osmar de Carvalho Bueno, pela amizade, ensinamentos e orientação;

Ao Sr. Paulo Pellicce, proprietário da Granja OvoBom, por ceder o espaço para a realização deste trabalho;

A todos os funcionários da Granja OvoBom;

Ao Sr. Rinaldo Camargo, pela amizade, atenção e disposição no auxílio técnico para a coleta dos dados deste trabalho;

Ao Engenheiro Eletricista Mário Alberto Cervi, meu pai, pela atenção, ensinamentos e dedicação. Pai, você sempre será meu ídolo e modelo de ser humano;

Aos docentes, Prof. Dr. Jorge de Lucas Júnior, Prof. Dr. Marco A. M. Biaggioni, Profa. Dra. Izabel Cristina Takitane e Prof. Dr. José Matheus Yalenti Perosa pelos ensinamentos e conselhos;

A todos os docentes das disciplinas cursadas pelo programa;

Aos funcionários do Departamento de Gestão e Tecnologia Agroindustrial e às funcionárias da Seção de Pós-Graduação;

À Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Campus de Botucatu, e a coordenação do Curso de Pós-graduação em Agronomia, Área de Concentração em Energia na Agricultura;

A todos os funcionários da biblioteca Prof. Paulo de Carvalho Mattos.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS .....	VII
LISTA DE FIGURAS .....	VIII
1 RESUMO .....	1
2 SUMMARY .....	3
3 INTRODUÇÃO .....	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	8
4.1 Matriz energética mundial e brasileira .....	8
4.2 Uso da biomassa como fonte renovável de energia.....	11
4.3 Suinocultura e uso de biodigestores .....	15
4.3.1 Biofertilizante .....	17
4.3.2 Biogás.....	19
4.3.3 Viabilidade econômica para implantação de biodigestores .....	20
4.4 Métodos de avaliação de investimentos .....	22
4.4.1 Valor presente líquido (VPL) .....	22
4.4.2 Taxa Interna de Retorno (TIR) .....	23
4.4.3 Relação Benefício-Custo (RBC).....	23
4.4.4 Período de recuperação do investimento ( <i>Payback</i> ).....	24
4.4.5 Análise de sensibilidade .....	25
5 METODOLOGIA .....	26
5.1 Fonte de dados.....	26
5.1.1 Caracterização da atividade biointegrada.....	28
5.2 Método .....	30
5.2.1 1ª Etapa – Análise de benefícios.....	31
5.2.2 2ª Etapa – Análise de custos .....	34
5.2.3 3ª Etapa – Análise econômica .....	38
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
6.1 Geração de energia elétrica .....	40
6.2 Produção de biofertilizante .....	41

6.3	Investimento inicial .....	42
6.4	Custo anual do sistema .....	45
6.5	Análise econômica.....	47
7	CONCLUSÃO .....	50
8	REFERÊNCIAS.....	51



**LISTA DE TABELAS**

	Página
Tabela 1. Participação das fontes de energia na oferta interna (%), Brasil 2006-2007. ....	8
Tabela 2. PIB e consumo de eletricidade e de energia primária no Brasil e no Mundo. ....	10
Tabela 3. Produção de estrume de suínos, segundo categoria animal. ....	17
Tabela 4. Composição química média (%) de resíduos líquidos não decompostos e submetidos à fermentação anaeróbia (biofertilizante) produzido por diferentes animais. ....	19
Tabela 5. Tronco de pirâmide inferior. ....	27
Tabela 6. Preço do kWh cobrado pela concessionária de energia elétrica. ....	40
Tabela 7. Benefício gerado com a aplicação de biofertilizante. ....	42
Tabela 8. Custos com a construção do biodigestor. ....	43
Tabela 9. Custos com a construção do abrigo do grupo gerador. ....	44
Tabela 10. Custos com as instalações elétricas. ....	44
Tabela 11. Custos com a aquisição do conjunto motor-gerador. ....	45
Tabela 12. Custos com mão-de-obra para a implantação. ....	45
Tabela 13. Custos de depreciação dos bens depreciables. ....	45
Tabela 14. Juros sobre o capital investido ( $r = 5,64\%a.a.$ ). ....	45
Tabela 15. Manutenção preventiva do grupo gerador. ....	46
Tabela 16. Indicadores de viabilidade econômica. ....	48
Tabela 17. Simulação do consumo médio de energia elétrica. ....	48

**LISTA DE FIGURAS**

	Página
Figura 1. Estrutura dos diferentes processos para produção de energia a partir de biomassa...	12
Figura 2. Exemplo de simulação na análise de sensibilidade.....	25
Figura 3. Biodigestor modelo tubular. ....	27
Figura 4. Seção transversal do biodigestor.....	27
Figura 5. Confinamento de suínos em fase de crescimento e terminação. ....	28
Figura 6. Afluente da granja de suínos e biodigestor.....	28
Figura 7. Efluente do biodigestor, reservatório e moto-bomba.....	29
Figura 8. Fluxograma do sistema biointegrado. ....	29
Figura 9. Grupo gerador a biogás (50 KVA).....	30
Figura 10. Estrutura metodológica do trabalho. ....	31
Figura 11. Instalação do aparelho AR5-L <sup>®</sup> . ....	32
Figura 12. Medições do consumo de energia elétrica. ....	41

## 1 RESUMO

As mudanças estruturais do setor agropecuário brasileiro contribuíram para a sua modernização provocando uma intensificação do uso de energia na agricultura. A tendência crescente dos preços de energia demanda estudos sobre a viabilidade técnico-econômica de fontes alternativas de energia, além das questões de ordem ambiental. Uma das alternativas que vem despertando grande interesse é a tecnologia de biodigestão anaeróbia de resíduos animais, particularmente de resíduos da produção de suínos, com a implantação de biodigestores, em sistema biointegrado. Esta apresenta vantagens, como a produção de biogás e biofertilizante, produtos de elevado valor agregado, redução da poluição dos recursos hídricos e facilidade de implantação e operação. Este trabalho teve como objetivo desenvolver um estudo para estimar a viabilidade econômica de um sistema biointegrado, para produção de eletricidade e biofertilizante, a partir do aproveitamento de dejetos suínos. Os dados para este estudo foram coletados em uma agroindústria, cuja principal atividade é a criação de aves poedeiras, mas também conduz atividades de suinocultura, configurando, portanto, um estudo de caso. O biodigestor analisado é um modelo tubular contínuo, com calha de água em alvenaria e com uma manta plástica como gasômetro, onde são depositados diariamente os dejetos de 2.300 suínos em fase de terminação. O sistema possui um gerador de eletricidade acoplado a um motor adaptado para uso com biogás. Foram analisados os custos de implantação, e os custos anuais de manutenção, depreciação e juros. Os benefícios anuais foram dados pelo valor econômico da eletricidade consumida e dos nutrientes presentes no biofertilizante usado para irrigação de pastagens. Também foram estimados indicadores de

viabilidade econômica, como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Relação Benefício Custo (RBC) e *PayBack* (PB), utilizando uma taxa de desconto de 6% a.a. O investimento inicial para implantação foi estimado em R\$ 51.537,17 e os custos anuais do sistema foram de R\$ 5.708,20 com manutenção, R\$ 4.390,40 com depreciação e R\$ 1.366,77 com juros. O benefício com a geração de energia elétrica, considerando um consumo médio de 17,1 kW foi de R\$ 8.916,45.ano<sup>-1</sup> e o benefício com o aproveitamento do biofertilizante foi de R\$ 14.882,24.ano<sup>-1</sup>, mostrando que os benefícios anuais são maiores que os custos anuais. Por outro lado, são gerados excedentes de energia elétrica e biofertilizante que não são aproveitados no sistema biointegrado, e nem são vendidos. Conclui-se que o sistema biointegrado apresenta resultados econômicos favoráveis, mas o correto dimensionamento técnico tem grande influência nos resultados econômicos.

---

Palavras-chave: Biodigestores, biogás, energia elétrica, avaliação econômica.

ECONOMIC EVALUATION USING BIOGAS AND BIOFERTILIZER PRODUCED BY ANAEROBIC BIODIGESTION: A CASE STUDY IN A BIOINTEGRATED UNIT. Botucatu, 2009. 57p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: RICARDO GHANTOUS CERVI

Adviser: MAURA SEIKO TSUTSUI ESPERANCINI

## 2 SUMMARY

Structural changes in the Brazilian agriculture have contributed to its modernization, causing the intensification of energy use in it. Besides the environment, the energy cost increase tendency has demanded studies on the technical economic viability of alternate energy sources. One interesting alternative is the technology of animal waste anaerobic biodigestion, mainly the one using swine waste, through the installation of biodigesters in a biointegrated system. The advantages are: biogas and biofertilizer production, highly aggregated value products, decrease of water resource pollution, easy installation and operation. This work aimed to develop a study to estimate the economic viability of a biointegrated system installation and operation to produce electricity and biofertilizer from swine wastes. Data for the study were collected in an agroindustry whose main activity is the production of broiler feeder hens, but that also has swine production activities, which characterizes a case study. The analyzed biodigester is a continuous tubular model with brick concrete duct and plastic covering with a gasometer, and where the waste of 2,300 fattening pigs are deposited daily. The system has an electricity generator attached to an adapted motor for biogas use. Installation costs, yearly maintenance costs, depreciation and interests were analyzed. Yearly benefits were given by the economic value of electricity consumption and nutrients present in the biofertilizer used for pasture irrigation. The following economic viability indicators were also estimated considering a 6% per year discount tax: Net Present Value (NPL), Intern Return Rate (IRR), Cost Benefit Relationship (CBR) and Payback (PB). The initial investment estimate for the installation was R\$ 51,537.17. The system annual costs

were R\$ 5.708,20, for maintenance, R\$ 4.390.40 for depreciation and R\$ 1,366.77 for interests. The benefit with electrical power consumption, considering an average consumption of 17.1 kW, was R\$ 8,916.45.year<sup>-1</sup> and the benefit with biofertilizer use was R\$ 14,882.24.year<sup>-1</sup>, showing that annual benefits are greater than annual costs. On the other hand, exceeding production of electrical power and biofertilizer are neither used in the biointegrated system nor sold. It was concluded that the biointegrated system achieved favorable economic results, but the correct technical dimensioning greatly influences on the economic results.

---

Keywords: Biodigester, biogas, electrical power, economic viability.

### **3 INTRODUÇÃO**

Nas últimas décadas, as mudanças estruturais do setor agropecuário brasileiro contribuíram para a sua modernização. Como consequência deste processo de modernização houve intensificação do uso de energia na agricultura, particularmente de energias não renováveis. A necessidade de não apenas buscar melhor eficiência na utilização dos recursos naturais, reduzindo drasticamente a poluição, como também a necessidade de estabilizar os níveis de consumo dos recursos naturais são os desafios para solucionar o problema energético mundial.

A utilização da biomassa como fonte renovável e sustentável de energia, com o aproveitamento dos resíduos rurais, efluentes industriais e urbanos, permite diversificar a matriz energética nacional. Ao contrário da energia dos combustíveis fósseis, a biomassa é renovável e não contribui para o acúmulo de dióxido de carbono na atmosfera terrestre. (PECORA, 2006).

A questão da sustentabilidade com a utilização da biomassa para produção de energia é de especial importância nos países em desenvolvimento. A biomassa tradicional é a fonte de energia mais utilizada para cocção e aquecimento de ambientes nesses países, contudo da maneira como é utilizada causa impactos negativos à saúde humana e ao meio ambiente. Em contrapartida em países desenvolvidos há uma maior utilização de fontes mais eficientes para cocção e aquecimento como a energia elétrica e o gás natural.

Existem oportunidades para o desenvolvimento e utilização de biomassa moderna nos países em desenvolvimento, com benefícios em termos de qualidade dos serviços de energia, impactos na saúde humana e no meio ambiente.

Neste contexto, insere-se a suinocultura brasileira, não só pelo grande contingente de produtores envolvidos, como também, pela capacidade de produzir grande quantidade de resíduos de alto potencial poluidor.

O crescente aumento na atividade suinícola no País e o incremento tecnológico nos sistemas de produção, resulta num aumento na geração de dejetos, ocasionando problemas de ordem sanitária com perigo a saúde devido o alto teor de substâncias patogênicas presentes nesses resíduos.

Quando bem conduzido, o manejo permite o aproveitamento integral dos dejetos, dentro das condições estabelecidas em cada propriedade. No meio rural, os sistemas biointegrados<sup>1</sup>, especificamente com aproveitamento de biomassa para fins energéticos, podem ser um meio facilitador para atingir a sustentabilidade da produção em função da disponibilidade de biomassa nas propriedades agrícolas, por apresentar baixo custo de oportunidade dos resíduos da produção, grande potencial de geração de energia, diminuição do potencial poluidor dos resíduos, redução da pressão sobre os recursos naturais e economia de recursos energéticos.

Desse modo, o tratamento desses efluentes pode dar-se pela biodigestão anaeróbia que permite obter biofertilizante, contribuir para o saneamento e valorizar um produto energético, o biogás, cuja disponibilidade auxilia na amortização dos custos da tecnologia instalada.

Para a criação de sistemas de biodigestores mais competitivos se faz necessário analisar a execução do projeto e do manejo da tecnologia adotada, que pode permitir a construção de instalações mais econômicas e recuperação dos investimentos de forma mais rápida. Dessa maneira são avaliados os benefícios energéticos do biogás e da reciclagem do efluente como fertilizante (MIRANDA, 1991).

---

<sup>1</sup> A expressão “sistema biointegrado” costuma ser aplicada ao desenvolvimento sistemático e de forma integrada de uma ou mais atividades rurais seja na criação de suínos, bovinos, caprinos, ovinos ou muares, entre outras, em uma mesma propriedade rural, de tal forma que uma atividade termine por complementar a outra, com aproveitamento das potencialidades de cada uma (ANGONESE et al, 2006).



A possibilidade de criação de fontes de suprimento descentralizadas e em pequena escala é fundamental para o desenvolvimento sustentável. Centrais que utilizam fontes renováveis e não demandam alta tecnologia para instalação ou mão-de-obra especializada para sua execução são soluções, principalmente para produtores rurais, que podem diminuir a dependência de energia das concessionárias de energia elétrica. (OLIVEIRA, 1993).

Assim, por meio da identificação dos custos e benefícios de um sistema de biodigestão implantado, este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade econômica da utilização do biogás e biofertilizante gerados numa unidade de produção biointegrada.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Matriz energética mundial e brasileira

O Brasil é um país que apresenta uma configuração privilegiada da matriz energética em termos de sustentabilidade, uma vez que cerca de 45% do consumo energético é atendido por fontes renováveis (Tabela 1).

Tabela 1. Participação das fontes de energia na oferta interna (%), Brasil 2006-2007.

Energético	2006	2007	Energético	2006	2007
Fonte Renovável	44,9	46,4	Fonte Não renovável	55,1	53,6
Energia Hidráulica e Eletricidade	14,8	14,7	Petróleo de Derivados	37,8	36,7
Lenha e Carvão Vegetal	12,7	12,5	Gás Natural	9,6	9,3
Produtos da Cana-de- Açúcar	14,5	16,0	Carvão Mineral e Derivados	6,0	6,2
Outras renováveis	2,9	3,1	Urânio (U <sub>6</sub> O <sub>8</sub> ) e derivados	1,6	1,4

Fonte: (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2008a).

Por outro lado é interessante verificar que existe alta concentração do consumo de energia renovável providas de duas categorias: biomassa (bagaço de cana e lenha) e hidroeletricidade. Neste sentido, uma clara diversificação de fontes energéticas renováveis no Brasil ainda não é uma realidade.

As principais fontes de energia para o consumo no segmento agropecuário foram: óleo diesel (56%), lenha (26%), e outros (18%). Destaca-se, também, elevação dos preços, no triênio 2004-2006, pagos pela energia, pois os preços do óleo diesel apresentaram aumento de 69,5%, e da energia elétrica de 59,5%, respectivamente. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2008b).

É evidente a dependência do setor agropecuário, principalmente no que diz respeito ao óleo diesel, lenha e eletricidade. Desse modo, qualquer variação nos preços destes itens tem reflexos imediatos nos custos de produção e na formação do preço final dos produtos do setor.

O consumo de energia e os padrões atuais de produção são baseados nas fontes fósseis, o que gera emissões de poluentes, gases de efeito estufa e coloca em risco o suprimento energético de longo prazo no planeta. Esses padrões podem mudar com o estímulo ao uso de energias renováveis. Nesse sentido, o Brasil apresenta uma condição favorável em relação ao resto do mundo.

Conforme os dados do Balanço Energético Nacional 2007, ano base 2006, a indústria de energia no Brasil se destaca como importante setor da infra-estrutura econômica e responde pelo abastecimento de 91,7% do consumo nacional. Os 8,3% restantes são importados, principalmente nas formas de carvão mineral e derivados de petróleo. A Oferta Interna de Energia (OIE), em 2006, foi de 226,1 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep). Cerca de 45% da OIE teve origem em fontes renováveis, enquanto que no mundo essa taxa é de 12,7% e nos países membros da OECD (*Organization for Economic Co-operation and Development*) é de apenas 6,2%. Dessa participação da energia renovável, no Brasil, 14,8% correspondem à geração hidráulica e 30,3% a outras fontes renováveis. Os 55% restantes da OIE originaram de fontes fósseis e outras não renováveis (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2008a).

Dados da mesma fonte apontam que essa característica resulta do grande desenvolvimento do parque gerador de energia hidrelétrica desde a década de 50 e de políticas públicas adotadas após as crises do petróleo, ocorridas na década de 70, visando à redução do consumo de combustíveis oriundos dessa fonte e dos custos correspondentes à sua importação responsáveis por quase 50% das importações totais do país na época.

Nessa linha, implantou-se também o programa de produção de álcool combustível, o PROÁLCOOL, em 1975, o qual tinha como objetivo substituir parte da gasolina utilizada na frota nacional de veículos e como aditivo à gasolina, o álcool anidro, tornando menos poluente a sua combustão.

Para Correia (2007) com a criação do PROÁLCOOL, como instrumento essencial da política energética estabelecida no Brasil, o papel do álcool que além de ser uma fonte renovável de energia, deixava de ser apenas uma válvula de escape da indústria açucareira. Também se tornava um meio para reduzir o impacto do choque do petróleo sobre a balança comercial e para reduzir a dependência energética do exterior.

Conforme os dados da Tabela 2 pode-se verificar que os anos 70 foram a época de maior crescimento econômico do País, Após esse período houve uma forte desaceleração no crescimento do Produto Interno Bruto (PIB), da produção de energia primária e do consumo de eletricidade. Nos últimos trinta anos, aproximadamente, a produção de energia primária no Brasil tem acompanhado de perto o crescimento do PIB, mas o consumo de eletricidade tem aumentado mais rapidamente, em razão da eletrificação crescente do país. Os dados permitem estabelecer comparações entre o Brasil e o mundo.

Tabela 2. PIB e consumo de eletricidade e de energia primária no Brasil e no Mundo.

Indicador	Região	Período				
		1971-1980	1980-1990	1990-2000	2000-2003	2004-2005
Crescimento anual do PIB	Brasil	8,34%	1,57%	2,65%	1,26%	2,28%
	Mundo	3,77%	2,90%	2,80%	4,97%	4,40%
Crescimento anual do consumo de eletricidade	Brasil	11,83%	5,90%	4,30%	1,05%	4,24%
	Mundo	5,18%	3,60%	2,62%	2,72%	nd
Crescimento anual da produção de energia primária	Brasil	5,39%	1,78%	3,32%	1,45%	1,75%
	Mundo	3,05%	1,90%	1,45%	2,02%	nd

Fonte: Adaptado de Goldemberg e Lucon, (2007).

O Brasil possui uma forte base hidráulica em sua matriz elétrica, dada à abundância em recursos hídricos. Contudo, o estímulo a outras fontes de energias renováveis é ainda muito inferior se comparado à média mundial, apesar dos esforços feitos pelo governo

federal por meio do Programa de Incentivo a Fontes Alternativas de Eletricidade (PROINFA), criado em 2002.

O PROINFA foi instituído pela Lei n.10.438/2002 e teve como objetivo estimular a geração de eletricidade por fontes: eólica, biomassa (bagaço de cana), gás de aterro sanitário, e pequenas centrais hidrelétricas (PCH). Entre as outras tecnologias geradoras de eletricidade utilizadas no país estão a term nuclear, eólica, as termelétricas a gás natural e a óleo combustível, mas nenhuma delas contribui com uma porcentagem maior do que 7% do total (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2006).

#### **4.2 Uso da biomassa como fonte renovável de energia**

A biomassa é considerada, em geral, uma fonte renovável de energia. A produção e utilização da biomassa para fins energéticos têm recebido, nesses últimos anos, uma atenção especial na medida em que ela se relaciona diretamente com a fixação do dióxido de carbono atmosférico agindo como redutora das emissões desse gás, um dos grandes responsáveis pelo efeito estufa.

Estudos recentes consideram as chamadas “biomassas tradicionais” como aquelas não sustentáveis utilizadas, em geral, no suprimento residencial para cocção e aquecimento de ambientes. Já “biomassas modernas” são compreendidas como biocombustíveis, tais como: etanol, biodiesel, madeira de reflorestamento, bagaço de cana-de-açúcar e outras fontes desde que utilizadas de maneira sustentável em processos tecnológicos avançados e eficientes (GUARDABASSI, 2006).

Segundo Couto et al (2004) para o aproveitamento da biomassa para fins energéticos devem ser considerados: o seu aproveitamento racional com as estratégias concernentes à proteção dos recursos naturais, as potencialidades para promover a substituição das formas de energias não-renováveis, a valorização energética pelos segmentos interessados e a viabilidade econômica. A partir da biomassa, independentemente da forma e da fonte de energia utilizada, tem se mostrado, ao longo de décadas, como um dos mais determinantes fatores de desenvolvimento econômico e social, conforme a Figura 1 podem ser produzidos combustíveis sólidos, líquidos e gasosos.

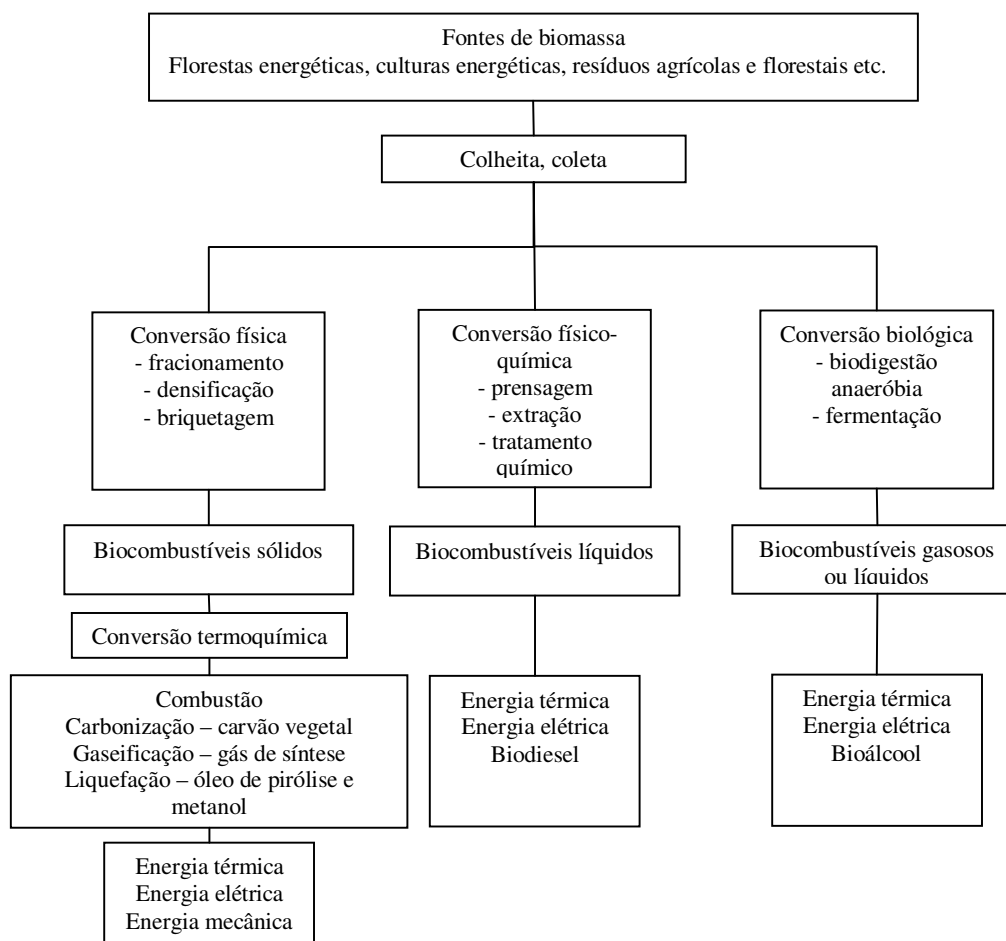


Figura 1. Estrutura dos diferentes processos para produção de energia a partir de biomassa.  
Fonte: Adaptado de Staiss e Pereira (2001).

O Brasil é destacado como um modelo mundial pelo seu vigoroso programa de biocombustíveis no setor de transportes baseado no etanol e pela aplicação das tecnologias de energia da biomassa. Bons exemplos disso são: a produção do etanol a partir da cana-de-açúcar, o carvão vegetal oriundo de plantações de eucaliptos, a cogeração de energia com o bagaço de cana-de-açúcar e o uso da biomassa em indústrias de papel e celulose tais como: cascas e resíduos de árvores, serragem e licor negro. (MENEGUELLO e CASTRO, 2007).

A utilização do bagaço de cana-de-açúcar para geração de energia, por exemplo, apresenta balanço nulo de emissões, pois as emissões resultantes da queima do bagaço são absorvidas e fixadas pela planta durante o seu crescimento (GOLDEMBERG, 2004).

As barreiras existentes para a maior utilização das energias renováveis são principalmente de ordem econômica, pois as tecnologias empregadas são novas, ainda em desenvolvimento, e por isso têm custo de implantação muito alto. No entanto, é preciso suporte governamental e investimentos em tecnologia, para que possam alcançar ganhos de escala e se tornem economicamente competitivas (GOLDEMBERG, 2006).

Aumentar a diversificação da matriz energética de um país e reduzir sua dependência de combustíveis fósseis é uma medida estratégica importante para a garantia de suprimento de energia evitando a vulnerabilidade às oscilações dos preços do petróleo e às instabilidades políticas dos países produtores (COELHO, 2005).

A utilização de energias renováveis, muitas vezes, é a única opção para o atendimento a comunidades em regiões isoladas. Porém, a instalação de um sistema para a produção de energia deve ser vinculada a uma atividade produtiva, para que a comunidade possa criar meios de manter o sistema em funcionamento e não fique dependente de programas assistencialistas (GUARDABASSI, 2006).

No Brasil a adição de etanol à gasolina trouxe imediatamente reduções da ordem de 50% na emissão de CO (Monóxido de Carbono). Há uma tendência mundial para a adição de compostos oxigenados à gasolina, visando à redução do impacto poluidor. É importante salientar que o Brasil conta com uma frota veicular do tipo “*flex-fuel*” (bi-combustível) que utiliza etanol em larga escala como combustível (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2008).

A redução dos níveis de emissão de monóxido de carbono melhora a qualidade do ar, que está diretamente relacionada à saúde da população e reduz consequentemente, os gastos públicos no setor da saúde tal como internações e medicamentos. Outra vantagem no emprego de energias renováveis é a diminuição das emissões de carbono através de projetos de créditos de carbono.

Conforme Orsolon (2006), o Brasil é o país que tem o maior número de projetos registrados na ONU e que grande parte deles é de energia renovável. O autor acrescenta que para gerar créditos de carbono um projeto deve atender a alguns requisitos básicos. Um dos principais é que a ação deve ser voluntária, tem de contribuir para o desenvolvimento sustentável e, ao mesmo tempo, reduzir a emissão de gases de efeito estufa em relação ao que ocorreria na sua ausência.

Atualmente, a maioria dos programas brasileiros de redução das emissões de carbono envolve projetos de cogeração de energia a partir do bagaço da cana-de-açúcar, mas, também, há projetos que utilizam biogás de aterros sanitários no país.

O primeiro projeto de utilização de biogás de aterro aprovado pelo Comitê Executivo para receber os “créditos de carbono” foi o Aterro Nova Gerar, em Nova Iguaçu, Rio de Janeiro. O projeto utilizará o biogás produzido pelo antigo “lixão” de Marambaia, que foi substituído por um aterro sanitário totalmente controlado, o Aterro de Adrianópolis, e deverá gerar 12 MW e evitará a emissão de 14 milhões de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> em 21 anos (ECOSECURITIES, 2004).

Outra iniciativa em andamento é a geração de energia elétrica pelo Consórcio Biogás no Aterro Bandeirantes, localizado na cidade de São Paulo, com uma estimativa preliminar de cerca de 1,4 milhões de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> evitadas por ano, considerando o primeiro período de crédito (ROVERE et al, 2005).

Para os autores acima, o potencial de geração de créditos de carbono neste setor, de iniciativas já em andamento e tecnicamente viáveis no curto e médio prazo é bastante relevante. Também apresenta uma oportunidade promissora para promover a sustentabilidade social e ambiental do desenvolvimento municipal no país, através do apoio a uma gestão dos resíduos sólidos urbanos.

A demanda por projetos de aproveitamento de biogás está crescendo principalmente devido às oportunidades oferecidas por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto. Nos aterros sanitários, todos os resíduos acumulados ficam expostos ao ar livre, e o gás metano produzido pela decomposição anaeróbia destes resíduos é liberado na atmosfera. Assim, a utilização do biogás para geração de eletricidade é uma atividade onde se podem obter os Certificados de Emissões Reduzidas, os chamados “créditos de carbono”. A simples queima do biogás substituindo as emissões de metano por dióxido de carbono é válida, pois o metano possui um potencial de aquecimento global 21 vezes maior do que o dióxido de carbono. (RANZI e ANDRADE, 2004).



### 4.3 Suinocultura e uso de biodigestores

Dados recentes apontam que a população de suínos no Brasil chega a contar com, aproximadamente, 37 milhões de animais alojados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS PRODUTORAS E EXPORTADORAS DE CARNE SUÍNA, 2007).

A suinocultura é uma atividade de grande potencial poluidor, face ao elevado número de contaminantes gerados pelos seus efluentes, cuja ação individual ou combinada, pode representar importante fonte de degradação do ar, dos recursos hídricos e do solo.

Os grandes centros intensivos de produção 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 (PERDOMO et al, 2001).

Esta situação exige a fixação de parâmetros legais para controle e fiscalização de emissões cada vez mais rigorosas. Um exemplo é a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2005).

Com a perspectiva de crescimento da suinocultura para os próximos anos e implantação de novos projetos no setor, torna-se necessária a adoção de técnicas de tratamento e utilização dos resíduos para a manutenção da qualidade ambiental e reutilização dos resíduos em outros sistemas agrícolas.

Na medida em que os sistemas de produção animal se modernizam, também se intensificam as necessidades energéticas e de tratamento dos resíduos. A digestão anaeróbia é um dos mais promissores meios de aproveitamento dos resíduos no campo da biotecnologia, uma vez que é fundamental para promover, com grande eficiência, a degradação dos resíduos orgânicos que são gerados em grandes quantidades nas modernas atividades rurais e industriais (LUCAS JÚNIOR, 1987).

Os primeiros países a utilizarem o processo de biodigestão intensivamente e com o intuito de produzir energia foram a China e a Índia, nas décadas de 50

e 60. Esses países, e outros em desenvolvimento criaram seus próprios modelos de biodigestores. A China é o país que mais desenvolveu o uso do biogás no âmbito rural visando prover, principalmente, energia para cozimento e iluminação doméstica (NOGUEIRA e ZÜRN, 2005).

Conforme Seixas et al (1980), no Brasil, os estudos sobre o processo de biodigestão anaeróbia no meio rural foram iniciados de maneira mais intensa em 1976, entretanto, os resultados alcançados já asseguram um bom domínio tecnológico, podendo qualificar o país apto a desenvolver um vasto programa no âmbito nacional, seja no setor agrícola ou no setor industrial.

Na suinocultura, onde existem grandes quantidades de animais confinados capazes de gerar uma enorme quantidade de dejetos, é viável a existência de biodigestores para a produção de biofertilizante e biogás evitando-se, assim, a poluição do meio ambiente e contribuindo para geração de uma forma de energia renovável.

Dentre os biodigestores de sistema de abastecimento contínuo mais difundido no Brasil estão os modelos chinês, indiano e tubular. Os biodigestores tubulares passaram a ser utilizados no início da década de 80 na região oeste dos estados do Paraná e Santa Catarina, onde se concentra grande parte do plantel suinícola do país.

Num biodigestor tubular, também chamado de *plug-flow*, a biomassa tem entrada contínua em uma das extremidades do biodigestor, passa através do mesmo e é descarregada na outra extremidade, na mesma seqüência em que entrou. O fluxo se processa, sem misturas longitudinais. As partículas permanecem no tanque por um período igual ao tempo de retenção hidráulica. Para garantir isso, os biodigestores são longos, com uma elevada relação comprimento-largura que auxilia na hidrodinâmica (FEIDEN et al, 2004).

Os autores acima também relataram que ocorre a formação de crosta em biodigestores tubulares porque nestes, conceitualmente, não há mistura, pelo menos no sentido longitudinal. Dessa maneira os biodigestores tubulares têm sido utilizados com sistemas de agitação, como sistemas com eixos longitudinais equipados com pás que fazem à mistura da biomassa.

### 4.3.1 Biofertilizante

Os dejetos produzidos em uma granja suinícola são compostos por fezes e urina, água desperdiçada pelos bebedouros, resíduos de ração, pêlos e poeira decorrentes do processo criatório, podendo variar de acordo com o peso corporal dos suínos. O biofertilizante resultante da fermentação anaeróbia não tem cheiro, não atraindo moscas, é isento de agentes patogênicos causadores de doenças e rico em nutrientes. Também aumenta a disposição de nitrogênio no solo e atende às exigências das culturas; pois são concentrados durante a fermentação (GASPAR, 2003).

Há constatação de valores de dejetos compreendidos entre 5,7 e 7,6 L.suíno<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> para suínos em uma faixa de peso de 57 a 97 kg, e que este volume de dejetos produzidos pode compreender entre 10 e 8% da massa corporal do animal (SEVRIN-REYSSAC et al, 1995).

Devido às influências de vários fatores tais como: instalações, o tipo de alimentação e de bebedouros, os sistemas de manejo, limpeza e armazenamento, as características dos dejetos de suínos se tornam muito variáveis. Dados da Tabela 3 apresentam a produção de esterco de suínos em diferentes fases.

Tabela 3. Produção de estrume de suínos, segundo categoria animal.

Categoria animal	Peso (kg)	estrume		
		kg/dia	m <sup>3</sup>	l/dia
Suínos em crescimento	29,5	1,90	0,002	1,8
Suínos em terminação I	68	4,45	0,004	4,3
Suínos em terminação II	91	5,90	0,006	6,1
Porcas em gestação	125	4,00	0,004	4,5

Fonte: Adaptado de Takitane (2001).

Para Konzen (2006) esse valor varia de 13 a 15 litros por suíno.dia<sup>-1</sup>, na fase de crescimento e terminação. O autor menciona que os dejetos de suínos possuem um ótimo potencial energético na produção de biogás, onde grande parte dos seus sólidos totais é constituída de sólidos voláteis, componentes essenciais do substrato para a biodigestão anaeróbia e que o aspecto fundamental é que o grupo de microrganismos encontre ambiente favorável ao seu desenvolvimento, em especial as bactérias metanogênicas.

O autor também destaca que para o dimensionamento dos sistemas de biodigestores, é necessário conhecer o volume dos dejetos produzidos pelos diversos sistemas ou núcleos de produção e que a utilização do biofertilizante proporciona aumentos na produtividade agrícola e na renda do agricultor pela substituição de fertilizantes convencionais.

Nos dejetos líquidos de suínos, grande parte do nitrogênio está presente na forma mineral, isto é, prontamente disponível para as plantas e também, mais sujeito a ser perdido por volatilização e lixiviação. Dessa maneira, aplicações em excesso de resíduos orgânicos podem causar um aumento no potencial de desnitrificação, devido à lixiviação de nitratos para a zona de perfil do solo com baixos teores de oxigênio ou até mesmo atingir o lençol freático (TAKITANE, 2001).

A autora acima relata que, no caso do fósforo sua combinação com compostos orgânicos e sua mineralização gradual durante o ciclo da cultura faz com que permaneça no solo, menos sujeito às reações de adsorção e fixação aos óxidos de ferro e alumínio. Além disso, podem os ácidos orgânicos dos dejetos competirem com os íons fosfatados pelos sítios de absorção dos argilominerais, mantendo no solo uma maior disponibilidade de fósforo para as plantas. Já quase a totalidade do potássio do esterco provém da urina, como sais solúveis e pode sofrer grandes perdas por lixiviação em solos arenosos ou por escorrimento superficial em solos impermeáveis e compactados.

Takitane (2001) discute que além dos macronutrientes presentes nos dejetos de suínos, há também a presença de micronutrientes devido ao suplemento mineral oferecido aos animais, tal como: Zinco (Zn); Manganês (Mn); Cobre (Cu) e Ferro(Fe) que, em doses elevadas, também, podem ser tóxicos às plantas. Esse problema poderá ser evitado com a determinação da concentração dos principais nutrientes presentes nos dejetos e as exigências das culturas. A composição média do biofertilizante, segundo estudos da autora foi de 1,4 a 1,8% de N; 1,1 a 2,0% de P e 0,8 a 1,2% de K. A autora também relata que a baixa concentração de nutrientes nos dejetos líquidos aumenta certamente os custos de armazenamento, transporte e aplicação por unidade de nutriente, limitando sua utilização econômica como fertilizante somente nas áreas próximas a sua produção.

Estudos recentes de Tanganelli (2007) apresentam composição média do biofertilizante e resíduos orgânicos para diferentes tipos de dejetos. A composição do biofertilizante de dejetos de suínos foi de 1,8 a 2,5% de N; 1,2 a 2,0% de P e 0,8 a 1,5% de K, (Tabela 4).

Tabela 4. Composição química média (%) de resíduos líquidos não decompostos e submetidos à fermentação anaeróbia (biofertilizante) produzido por diferentes animais.

<b>Resíduos orgânicos</b>	<b>Nitrogênio</b>	<b>Fósforo</b>	<b>Potássio</b>
Bovino	0,60	0,15	0,45
Equino	0,70	0,25	0,55
Ovino	0,96	0,35	1,00
Suíno	0,60	0,25	0,12
<b>Biofertilizante</b>	<b>N total</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>
Bovino	1,5-1,8	1,1-2,2	0,8-1,2
Suíno	1,8-2,5	1,2-2,0	0,8-1,5
Aves	2,0-2,8	1,2-2,1	0,9-1,6

Fonte: Tanganelli (2007).

O biofertilizante de dejetos de suínos pode ser usado na fertilização das lavouras sem comprometer a qualidade do solo e do meio ambiente. Para isso, é fundamental a elaboração de um plano técnico de manejo e adubação considerando a composição química dos dejetos, a área a ser utilizada, a fertilidade e tipo de solo e as exigências da cultura a ser implantada.

Com o crescente aumento dos custos de produção das lavouras comerciais, a viabilização da atividade ocorrerá com o aumento da produtividade e racionalização do uso dos insumos. Nessa situação, o efluente produzido tem potencial como fertilizante para substituir senão total, mas parcialmente, os adubos minerais comerciais.

#### 4.3.2 Biogás

A produção de biogás através da biodigestão anaeróbia representa um avanço importante no sentido da solução do problema da disponibilidade energética no meio rural, tanto no uso para a cocção e aquecimento, quanto para a geração de energia elétrica.

Segundo Souza (2006), o biogás pode ser utilizado em motores de combustão interna que são máquinas que transformam a energia calorífica do combustível em

energia mecânica diretamente utilizável. São chamados de combustão interna porque a mistura ar-combustível é queimada internamente em um cilindro.

Nogueira (1986) relata que em motores de combustão interna de ciclo OTTO, a ignição é feita por centelha e o biogás é admitido em mistura com o ar e carburado em um dispositivo montado no local do filtro de ar. Já em motores de ciclo DIESEL onde a ignição é feita por compressão é necessário que, além da admissão da mistura de ar com biogás, seja feita a injeção de pequena quantidade de óleo Diesel para iniciar a queima.

Há constatações que o poder calorífico inferior do biogás é de 6,5 kWh.m<sup>-3</sup> e a eficiência de conversão do biogás em energia elétrica com grupos geradores (motores ciclo Otto) é de, aproximadamente, 25% (SANTOS, 2000).

#### **4.3.3 Viabilidade econômica para implantação de biodigestores**

Os estudos econômicos da implantação de biodigestores ainda são escassos considerando-se a implantação desta tecnologia em atividades de pequena e média escala. Essa tecnologia é encontrada em larga escala na região Sul do Brasil, onde está concentrado o maior plantel de suínos.

Estudos de Giroto e Stülp (1989) analisaram a viabilidade dos biodigestores como alternativa energética para pequenas propriedades. O estudo concluiu que o potencial de biogás produzido pelos dois biodigestores (de 12 e 25 m<sup>3</sup>), foi competitivo, comparativamente às demais fontes energéticas: na substituição de botijões de GLP, gasolina ou óleo diesel.

Outro estudo, de Jordan et al (2004) mostra que um biodigestor com capacidade de produção de 150 m<sup>3</sup> diários de biogás apresenta um investimento inicial de R\$ 20.000,00 e tempo de retorno de aproximadamente 15 meses.

Souza et al (2006), utilizando metodologia e tipo de investimentos diferentes (biodigestores, motor elétrico e conjunto de irrigação) que totalizaram R\$60.000,00, apresentou período de retorno que varia entre 1,80 a 2,65 anos, dependendo do tempo de uso diário do gerador.

Esperancini et al (2007), analisaram a viabilidade de implantação de dois biodigestores em assentamentos rurais com uso de dejetos animais, um deles para o fornecimento de energia para os domicílios e outro para as atividades produtivas. O período de recuperação do investimento foi de 2,5 anos e 11 meses, para a produção de biogás nos domicílios e na produção, respectivamente. Os autores concluíram que esses estudos podem servir como base para o desenvolvimento de políticas públicas direcionadas ao aproveitamento de biomassa para a produção de energia a baixos custos.

Junges et al (2009), realizaram um estudo sobre a análise econômico-financeira da implantação de diferentes modelos de biodigestores em duas propriedades (A e B), no município de Toleno no estado do Paraná. Os autores simularam cenários com a comercialização de créditos de carbono que foram acrescidos à receita dos sistemas de biodigestores analisados. Assim, constataram inviabilidade econômico financeira na propriedade A sem a comercialização dos créditos de carbono, já com a comercialização dos créditos de carbono apresentou resultados favoráveis. Na granja B houve viabilidade econômica em todas as simulações realizadas.

Os autores acima apontaram que a grande quantidade de dejetos viabiliza a implantação de biodigestores porque gera maior produção de biogás, maior economia de energia elétrica e créditos de carbono. Constataram também que os ganhos ambientais, por si só, não motivam pequenos suinocultores a implantar sistemas de biodigestores em suas propriedades, dessa maneira, atualmente, os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo – MDLs são limitados a poucos produtores. Também destacam que na tentativa de fomentar projetos de menor volume de Redução Certificada de Emissões - RCE, foi aprovada na Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - CQNUMC, uma modalidade específica para projetos de pequena escala, com menores custos de certificação e transação e assim, incentivar pequenos proprietários através de arranjos associativistas na região.

#### 4.4 Métodos de avaliação de investimentos

Qualquer análise de viabilidade econômica de um projeto deve levar em consideração questões básicas, porém fundamentais, que norteiam a decisão de investir ou não em uma atividade.

A representação do fluxo de caixa de um projeto consiste em uma escala temporal onde são marcados os períodos de tempo e na qual são representadas as entradas e saídas de caixa. Considera-se como fluxo diferencial líquido a diferença entre as entradas e saídas de caixa. A unidade de tempo – mês, semestre ou ano, deve coincidir com o período de capitalização dos juros considerados (CASAROTTO FILHO E KOPITTKKE, 2007).

Para Gonçalves (2004) o método tradicional de avaliação de um projeto de investimento é baseado no fluxo de caixa descontado (FCD). Para isto desconta-se o fluxo de caixa obtido ao longo do tempo a uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA). A seguir são detalhados os métodos matemáticos que fundamentam este princípio.

##### 4.4.1 Valor presente líquido (VPL)

Conforme Nogueira (2001) o Valor Presente Líquido (VPL) é um indicador que permite avaliar a viabilidade econômica do projeto durante seu período de vida útil. O VPL é definido pelo valor atual dos benefícios menos o valor atual dos custos ou desembolsos (Equação 1).

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{Bt - Ct}{(1 + r)^t} \quad (1)$$

onde:

$Bt$  - benefício do projeto, em unidades monetárias, no ano  $t$ ;

$Ct$  - custo do projeto, em unidades monetárias, no ano  $t$ ;

$r$  - taxa de desconto;

$t$  - contador de tempo.

$n$  - período de vida útil do investimento, em anos.



O VPL representa, em valores monetários presentes, a diferença entre os recebimentos e os pagamentos de todo o projeto. Se o VPL for positivo, significa que foi recuperado o investimento inicial aplicado à Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

#### 4.4.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

O método da Taxa Interna de Retorno (TIR) requer o cálculo da taxa que zera o valor presente líquido do fluxo de caixa das alternativas de investimento (Equação 2).

$$\sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} = 0 \quad (2)$$

Onde:

$B_t$  - benefício do projeto, em unidades monetárias, no ano  $t$ ;

$C_t$  - custo do projeto, em unidades monetárias, no ano  $t$ ;

$r$  - taxa interna de retorno (TIR);

$t$  - contador de tempo;

$n$  - período de vida útil do investimento, em anos.

Esta taxa deve ser comparada com a taxa mínima de atratividade, a ser definida pelo empresário. Os investimentos com TIR maior que a taxa de atratividade são considerados rentáveis e passíveis de análise (CASAROTTO FILHO E KOPITTKKE, 2007).

#### 4.4.3 Relação Benefício-Custo (RBC)

Para Nogueira (2001) esse indicador representa a relação entre o valor atual do retorno esperado e o valor dos custos esperados (Equação 3).

$$RBC = \sum_{t=0}^n \frac{B_t(1+r)^{-t}}{C_t(1+r)^{-t}} \quad (3)$$

Onde:

$B_t$  - benefício do projeto, em unidades monetárias, no ano  $t$ ;

$C_t$  - custo do projeto em unidades monetárias, no ano  $t$ ;

$r$  - taxa de desconto;

$t$  - contador de tempo;

$n$  - período de vida útil do investimento, em anos.

Este indicador de ganho apresenta o retorno por unidade de capital ao longo do período do projeto. Assim, o mesmo é obtido como sendo a razão entre o fluxo de benefícios e custos descontados. Portanto, para que um projeto continue sendo analisado, esta relação, em princípio, deverá ser maior que 1, ou seja,  $RBC > 1$ .

#### **4.4.4 Período de recuperação do investimento (*Payback*)**

O período de recuperação do capital, também conhecido como *Payback Time*, consiste essencialmente em determinar o tempo necessário para que o fluxo de caixa seja igual ao investimento inicial. Já o *payback* descontado ou *payback* econômico, considera que o somatório do fluxo de caixa descontado a uma taxa mínima de atratividade (TMA) seja, no mínimo, igual ao investimento inicial (CASAROTTO FILHO E KOPITTKKE, 2007).

O prazo de retorno de um projeto é a extensão de tempo necessária para que seu fluxo de caixa se iguale ao investimento inicial. No entanto, apresenta algumas desvantagens: por não considerar o valor do dinheiro no tempo, não considerar todos os capitais do fluxo de caixa, não ser uma medida de rentabilidade do investimento e, exigir um limite arbitrário de tempo para a tomada de decisão. É possível incluir o custo de oportunidade no cálculo do *payback*, resultando no que se convencionou chamar de *payback* descontado (LAPPONI, 2000).

Dadas suas limitações e não obstante a sua simplicidade é muito provável que as empresas e investidores empreguem o período de *payback* de um investimento como uma forma auxiliar na tomada de decisões sobre investimentos utilizando-o como um parâmetro limitador, ou seja, prazo máximo de retorno na tomada de decisão.

#### 4.4.5 Análise de sensibilidade

Na análise de sensibilidade é estudado o efeito que a variação de um dado de entrada pode ocasionar nos resultados. Quando uma pequena variação num parâmetro como custos fixos ou variáveis, por exemplo, alteram drasticamente a rentabilidade de um projeto, como o cálculo da Taxa interna de Retorno (TIR), diz-se que o projeto é muito sensível a custos, assim, é necessário concentrar esforços para obter dados menos incertos. As planilhas eletrônicas são um dos melhores instrumentos para elaborar um estudo com análise de sensibilidade. Através de um gerador de números aleatórios é possível elaborar **n** experimentos para se obter a distribuição da TIR (Figura 2).

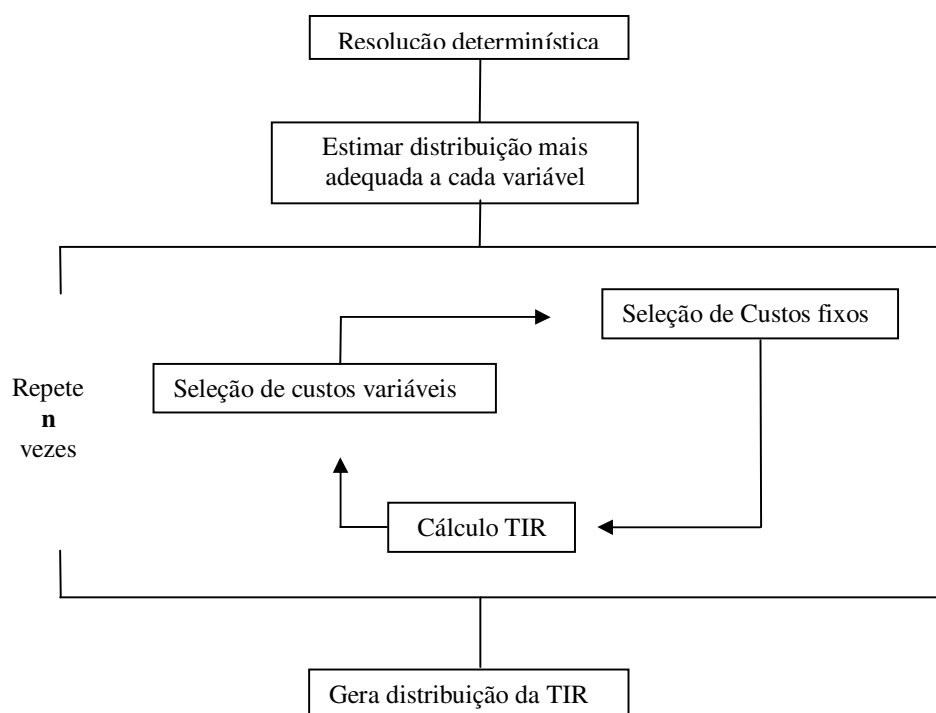


Figura 2. Exemplo de simulação na análise de sensibilidade.  
Fonte: Adaptado de Casarotto Filho e Kopittke (2007).

## **5 METODOLOGIA**

### **5.1 Fonte de dados**

Este estudo foi realizado na Agroindústria Pellicce e Francesco, localizada no município de São Manuel, Estado de São Paulo, situada a uma latitude de 22° 43' 50" Sul e longitude de 48° 34' 14" Oeste. O clima da região é do tipo Cfa (Método de Köeppen), clima temperado quente, mesotérmico, úmido, e com temperatura média anual de 21°C (CUNHA E MARTINS, 2009).

A principal atividade da propriedade é a criação de galinhas poedeiras. Além da granja de ovos, são realizadas diversas atividades agrícolas, tal como a cafeicultura, suinocultura com 2.300 suínos em fase de crescimento e terminação, e também criações de ovinos e bovinos, estas em menor escala.

A agroindústria foi uma das pioneiras com a instalação de um biodigestor para o tratamento de dejetos de suínos no Estado de São Paulo (Figura 3). Antes da construção do biodigestor, no ano de 2005, os dejetos da suinocultura eram tratados na propriedade em um sistema de decantação.



Figura 3. Biodigestor modelo tubular.

O biodigestor analisado neste estudo é um modelo tubular contínuo, com calha de água em alvenaria e com uma manta plástica como gasômetro. O biodigestor possui o formato de tronco de pirâmide inferior (Figura 4).

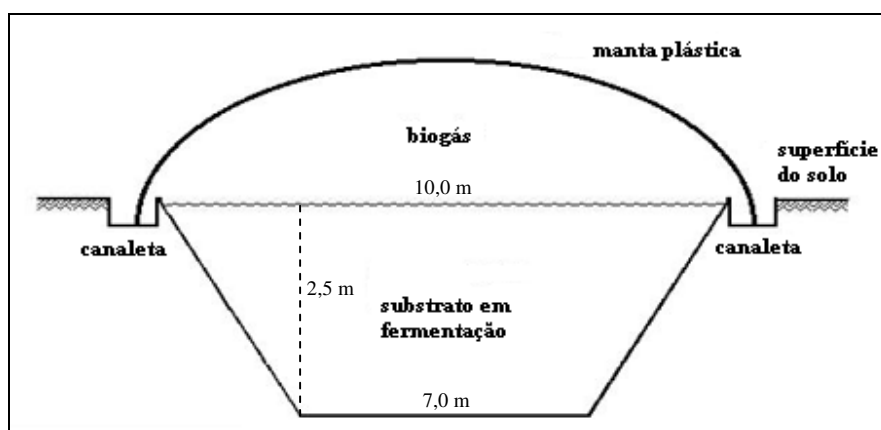


Figura 4. Seção transversal do biodigestor.

Conforme os dados da Tabela 5, o biodigestor estudado apresenta um volume útil de 496m<sup>3</sup>.

Tabela 5. Tronco de pirâmide inferior.

Dimensões do biodigestor	Altura (m)	Largura Inferior (m)	Comprimento Inferior (m)	Largura Superior (m)	Comprimento Superior (m)	Área Inferior (m <sup>2</sup> )	Área Superior (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	
Volume de escavação	2,8	0,9	7,0	22,0	10,0	25,0	154,0	258,0	571,0
Volume útil	2,5	0,8	7,0	22,0	10,0	25,0	154,0	246,0	496,0

### 5.1.1 Caracterização da atividade biointegrada

A propriedade recebe os leitões de uma unidade de produção de leitões, localizada no município de Pratânia-SP, com 58 dias de vida e pesos que variam de 18 a 20kg. Estes ficam alojados durante 90 dias, em média, num sistema intensivo de crescimento de terminação, onde posteriormente são enviados para o frigorífico com pesos entre 95 e 100 kg. (Figura 5). A edificação para a produção de suínos possui piso compacto com canais para o manejo dos dejetos do lado externo. Os dejetos são raspados diariamente de dentro das baias da edificação para os canais externos e a limpeza das baias com água é realizada três vezes por semana onde é formada uma lâmina de água para auxiliar a limpeza.



Figura 5. Confinamento de suínos em fase de crescimento e terminação.

Os dejetos gerados pelos suínos são conduzidos em tubos de PVC com diâmetro de 150 mm para uma caixa de homogeneização de fluxo do afluyente, caixa de entrada, e enviados diretamente para o biodigestor, com tempo de residência estimado em 35 dias (Figura 6).



Figura 6. Afluyente da granja de suínos e biodigestor.

O efluente do biodigestor passa pela caixa de saída, considerada uma caixa de manutenção, e é enviado para um reservatório onde o biofertilizante é bombeado, com o uso de uma moto-bomba, para irrigação de pastagens (Figura 7).



Figura 7. Efluente do biodigestor, reservatório e moto-bomba.

O biogás, ao ser produzido, é utilizado diretamente pelo conjunto motor-gerador que gera a energia elétrica utilizada no processo automatizado de seleção de ovos (Figura 8).

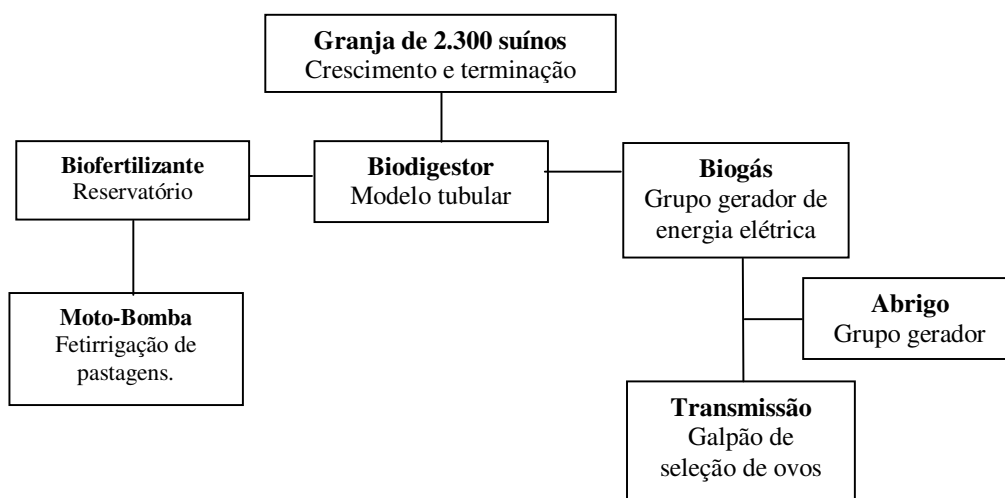


Figura 8. Fluxograma do sistema biointegrado.

O gerador de eletricidade é trifásico, 220/380 VCA, 3.600 RPM, 60 Hz, com capacidade nominal de geração de 50kVA. Conforme a norma NBR 5410 da Associação Brasileira de Normas Técnicas- ABNT (2004), para cálculos de geração de energia elétrica em baixa tensão, considerando-se um fator de potência médio da carga de 0,8

( $COS\phi$ ) apresenta uma geração máxima de energia de 40kW. Também possui controle de rotação eletrônico do tipo isócrono; com sensor eletromagnético, e proteção contra sub e sobre velocidade.

O gerador foi acoplado a um motor de 2000 CC, de 4 cilindros, adaptado para uso com biogás. O conjunto motor-gerador apresenta as seguintes dimensões: altura 0,90m; largura 0,85m; comprimento 1,70m (Figura 9).



Figura 9. Grupo gerador a biogás (50 KVA).

## 5.2 Método

Para descrever a metodologia utilizada no trabalho, foi elaborado um esquema gráfico dividido em etapas para facilitar o entendimento das fases envolvidas no trabalho, que são:

1ª Etapa – Análise de benefícios: Determinação dos benefícios com a geração de energia elétrica e com a produção de biofertilizante.

2ª Etapa – Análise de custos: Determinação do investimento inicial e dos custos totais da planta.

3ª Etapa – Análise de viabilidade econômica: Estabelecido o levantamento dos custos e dos benefícios do sistema foi realizada a análise de viabilidade econômica através de indicadores econômicos.

O esquema gráfico contendo as três etapas citadas com maiores detalhes apresenta-se na Figura 10.



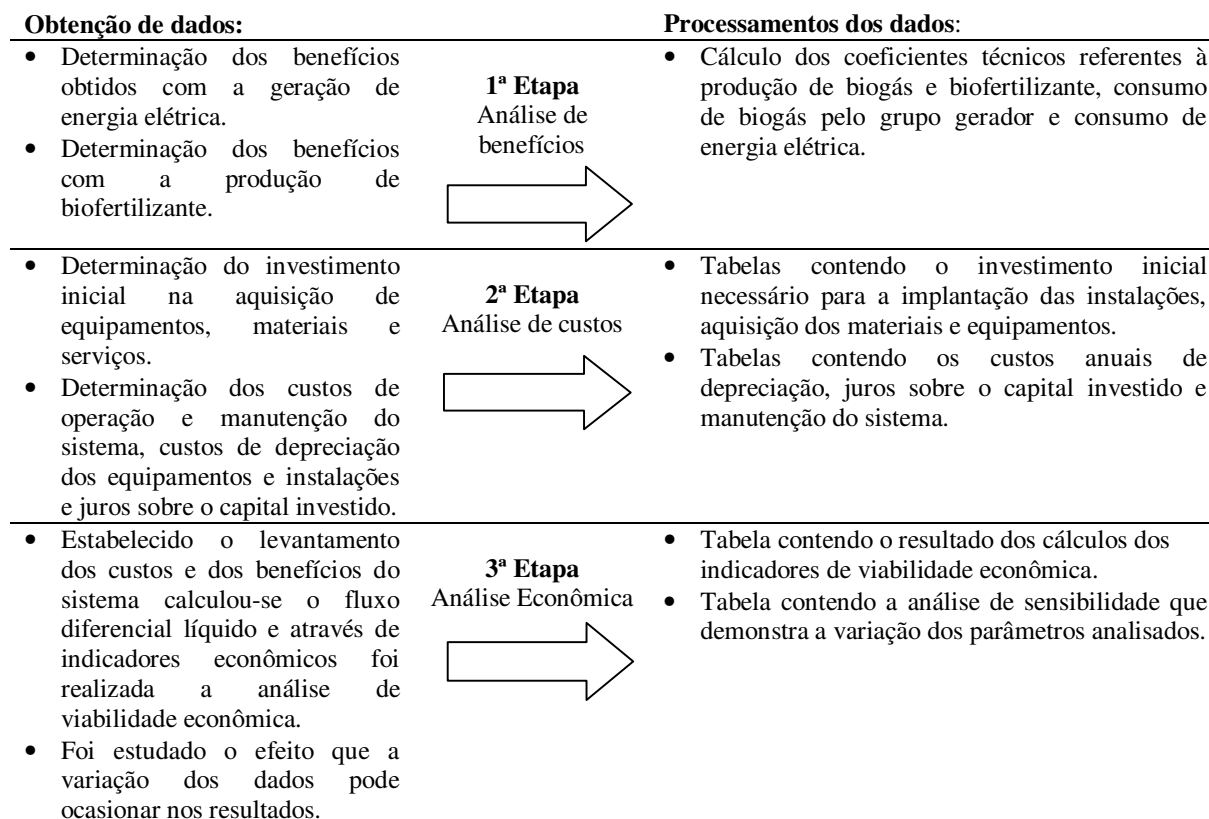


Figura 10. Estrutura metodológica do trabalho.

### 5.2.1 1ª Etapa – Análise de benefícios

#### a) Produção de biogás

Santos (2000) aponta que cada suíno em fase de terminação produz 0,799 m<sup>3</sup> diários de biogás. Assim, para 2.300 suínos em fase de terminação pode-se estimar a produção diária de 1.837,7m<sup>3</sup> de biogás. Com uma disponibilidade constante de dejetos, a produção de biogás é diária e sofre interrupção apenas para a manutenção eventual. Para a determinação da produção anual de biogás utilizou-se, de forma direta, a Equação 4:

$$PAB = PDB \times T \quad (4)$$

Onde:

PAB - Produção anual de biogás ( $\text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ ).

PDB - Produção diária de biogás ( $\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ ).

T - Disponibilidade anual da planta ( $\text{dias} \cdot \text{ano}^{-1}$ ).

b) Consumo de biogás pelo conjunto motor-gerador

O consumo específico de biogás pelo grupo gerador foi estimado em  $22 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . É uma relação, fornecida pelo fabricante do motor-gerador, entre o volume de biogás consumido pelo grupo gerador e a energia elétrica gerada pelo mesmo. Dessa maneira a estimativa do consumo anual de biogás utilizado pelo conjunto motor-gerador foi realizada pela Equação 5:

$$CAB = CEB \times T \quad (5)$$

Onde:

CAB – Consumo anual de biogás ( $\text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ )

CEB – Consumo específico de biogás pelo conjunto motor-gerador ( $\text{m}^3 \cdot \text{hora}^{-1}$ )

T - Disponibilidade anual da planta ( $\text{horas} \cdot \text{ano}^{-1}$ ).

c) Geração de energia elétrica

Com a utilização do analisador de rede denominado Circuitor AR5-L<sup>®</sup> (Figura 11) que é composto por um conjunto com cabos flexíveis de até 6.000 Amperes, com registros de intervalos de 10 minutos em cada medição, foram coletados os dados referentes potência ativa (kW) produzida pelo grupo gerador de energia instalado. Os dados foram monitorados entre os dias 21 e 27 de Fevereiro de 2008.

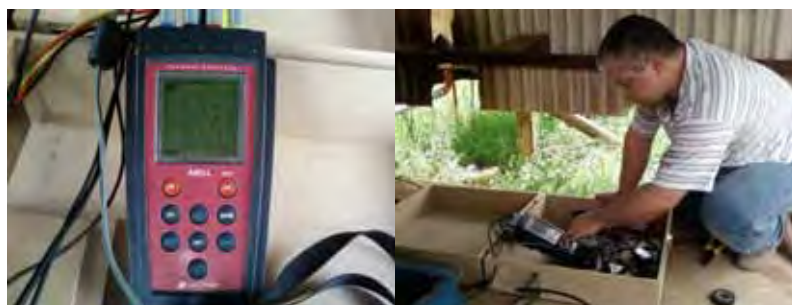


Figura 11. Instalação do aparelho AR5-L<sup>®</sup>.

Os benefícios com a produção de energia elétrica gerada no conjunto motor-gerador foram interpretados como a renda que se deixa de transferir para a concessionária de energia elétrica. Assim, através de medições foram coletados os dados da energia elétrica consumida pela agroindústria que fora disponibilizada pelo grupo gerador. Dessa maneira, o benefício foi interpretado conforme o consumo de energia elétrica em função da disponibilidade anual da planta e da tarifa de energia elétrica paga pelo proprietário, como segue na Equação 6:

$$BGEE = (PAC \times T) TEE \quad (6)$$

Onde:

BGEE – Benefício com a geração de energia elétrica (R\$.ano<sup>-1</sup>).

PAC – Potência ativa consumida (kW).

T – Disponibilidade anual da planta (horas.ano<sup>-1</sup>).

TEE – Tarifa de energia elétrica (R\$.kW.hora<sup>-1</sup>).

Os benefícios foram calculados por meio da tarifa de energia paga pelo proprietário, que está classificado como consumidor do Grupo A, atendido em média tensão (2,3 a 25kV), pertencente ao Subgrupo A4 e classificado com tarifa horo-sazonal verde. Esta se caracteriza por ter uma demanda contratada pelo consumidor e pela aplicação de tarifas diferenciadas em horários de ponta ou fora de ponta e, também, nos períodos seco ou úmido do ano, para o consumo de energia (COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ, 2008).

#### d) Produção de biofertilizante

Conforme Oliveira (1993) para suínos em fase de terminação com peso entre 25 e 100 kg são produzidos cerca de 7 L. dia<sup>-1</sup> de dejetos líquidos, em média. Dessa maneira, pode-se estimar que 2.300 suínos em terminação produzam aproximadamente 16,10 m<sup>3</sup> de dejetos por dia. A produção anual de biofertilizante foi determinada pela Equação 7:

$$PB = PDB \times T \quad (7)$$

Onde:

PB – Produção de biofertilizante ( $\text{m}^3.\text{ano}^{-1}$ ).

PDB – Produção diária de biofertilizante ( $\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$ ).

T – Disponibilidade anual da planta ( $\text{dias.ano}^{-1}$ ).

Os benefícios com a produção de biofertilizante foram computados de acordo com a quantidade dos macronutrientes aplicados na pastagem em função dos preços médios dos nutrientes praticados no mercado. A análise dos macronutrientes foi realizada através da metodologia do Laboratório Nacional de Referência Vegetal – LANARV. (LANARV, 1988). Para o cálculo do benefício anual com a produção de biofertilizante foi adotada a Equação 8:

$$BPB = QN \times PNM \quad (8)$$

Onde:

BPB – Benefício com a produção de biofertilizante ( $\text{R}\$.ano^{-1}$ ).

QN – Quantidade dos nutrientes presentes no biofertilizante aplicado em pastagem ( $\text{kg.ano}^{-1}$ ).

PNM – Preço dos nutrientes praticados no mercado ( $\text{R}\$.kg^{-1}$ ).

### 5.2.2 2ª Etapa – Análise de custos

#### a) Investimento inicial

O investimento inicial foi classificado como o gasto necessário para a implantação das instalações e aquisição dos materiais e equipamentos. Foram considerados os investimentos iniciais do biodigestor, conjunto motor-gerador e abrigo, e da rede de transmissão de energia elétrica. A moto-bomba não foi considerada como item de investimento uma vez que esta foi adaptada pelo proprietário e não apresenta dados viáveis para este estudo. Assim, para a determinação do investimento inicial foram considerados os itens de investimento descritos na Equação 9.

$$II = CM + MO \quad (9)$$

Onde:

II - Investimento inicial (R\$).

CM - Custos com materiais e equipamentos(R\$).

MO – Custos com mão-de-obra (R\$).

#### b) Custo anual do sistema

A implantação do sistema de biodigestão anaeróbia é um investimento de longa duração onde o retorno sobre o capital investido ocorre somente a partir de um determinado ponto da vida útil do empreendimento. Assim, para o cálculo dos custos anuais do sistema foram considerados: custos depreciação, juros sobre o capital fixo e custos de manutenção e operação.

##### b.1) Depreciação

O método de depreciação utilizado foi o da depreciação linear descrito por Nogueira (2001) na Equação 10:

$$D = \frac{Ci - Cf}{Vu} \quad (10)$$

Onde:

D – Depreciação anual (R\$.ano<sup>-1</sup>).

Ci – Custos de materiais depreciáveis (R\$).

Cf – Valor final do ativo (R\$).

Vu – Vida útil (anos).

Para o cálculo da depreciação dos materiais de alvenaria usados na construção do biodigestor foi considerado um período de 20 anos de vida útil, conforme indicado por NOGUEIRA & ZÜRN (2005).

Para a determinação da depreciação da manta plástica do biodigestor e do grupo gerador foi considerado um período de 10 anos de vida útil, segundo as informações dos fabricantes.

Foi considerado um período de 10 anos de vida para as instalações elétricas conforme a resolução normativa nº. 240, de 5 de dezembro de 2006 da ANNEL, que estabelece as taxas anuais de depreciação para os ativos, no âmbito da distribuição e da transmissão de energia elétrica (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2006).

#### b.2) Juros

O juro sobre o capital investido foi determinado em relação ao capital médio durante a vida útil dos bens a uma taxa de juros anual de 5,64% ao ano<sup>2</sup>, conforme o rendimento anual da caderneta de poupança. Segundo o método descrito por Nogueira (2001) o custo de oportunidade do capital pode realizado conforme a Equação 11.

$$Vk = \frac{Vi + Vf}{2} r \quad (11)$$

Onde:

Vk – Custo de oportunidade do capital (R\$.ano<sup>-1</sup>).

Vi – Valor total do investimento (R\$).

Vf – Valor final do ativo (R\$).

r – Taxa de juros anuais (%.ano<sup>-1</sup>).

#### b.3) Manutenção e operação

Os custos de manutenção foram computados como os gastos com a manutenção do grupo gerador e os gastos referentes à mão-de-obra para operar o sistema.

Para estimar a manutenção do grupo gerador foi considerado o intervalo de manutenção dos componentes como troca de óleo, lubrificação etc, conforme o Manual do Equipamento fornecido pelo fabricante, em função do tempo de operação grupo gerador. Os custos relacionados aos itens foram baseados nos valores cobrados pela

---

<sup>2</sup> Valores remunerados a uma taxa de juros compostos de 0,5% ao mês, aplicada sobre os valores atualizados pela Taxa Referencial (TR).

assistência técnica desses serviços na região, onde estão considerados os materiais utilizados e os impostos. Assim, o gasto anual com a manutenção do grupo gerador foi definido pela Equação 12.

$$GMGG = \left( \frac{T}{IM} \right) AT \quad (12)$$

Onde:

GMGG – Gastos com a manutenção do grupo gerador (R\$.ano<sup>-1</sup>).

T – Disponibilidade anual da planta (horas.ano<sup>-1</sup>).

IM – Intervalo de manutenção dos componentes (horas.unidade<sup>-1</sup>).

AT – Assistência técnica (R\$.unidade<sup>-1</sup>).

A operação do grupo gerador é diária e exige a presença de uma pessoa responsável pela ignição do motor, limpeza e zelo das instalações. O custo da mão-de-obra para manter o biodigestor em operação é muito baixo devido à simplicidade do sistema. Faz-se necessária apenas uma limpeza para a remoção do lodo precipitado no biodigestor e da crosta que se forma na superfície. Assim, para o cálculo da mão-de-obra necessária para a manutenção foi considerado o tempo de operação exigido em função do salário pago pela agroindústria em estudo, conforme a Equação 13.

$$GMO = TO \times GS \quad (13)$$

Onde:

GMO – Gastos com mão-de-obra para operação do sistema (R\$.ano<sup>-1</sup>).

TO – Tempo de operação exigido (horas.ano<sup>-1</sup>).

GS - Gastos com salário (R\$.hora<sup>-1</sup>).

Os gastos totais por ano com manutenção e operação foram definidos pela Equação 14:

$$GTMO = GMGG + GMO \quad (14)$$

Onde:

GTMO – Gastos totais com manutenção e operação (R\$.ano<sup>-1</sup>).

GMGG – Gastos com a manutenção do grupo gerador (R\$.ano<sup>-1</sup>).

GMO – Gastos com mão-de-obra para operação do sistema (R\$.ano<sup>-1</sup>).

### 5.2.3 3ª Etapa – Análise econômica

Estabelecido o levantamento dos custos e dos benefícios do sistema foi determinado o fluxo de caixa do projeto e, por meio dos indicadores: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Relação Benefício-Custo (RBC) e Período de recuperação do capital, *Payback* Simples e *Payback* Econômico, foi realizada a análise de viabilidade econômica. Também foi realizada a análise de sensibilidade do projeto com a simulação da geração média de energia elétrica. Dessa maneira foi analisado o efeito da variação de um dado de entrada, geração de energia elétrica, no resultado econômico.



## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tecnologia utilizada no processo de tratamento de efluentes líquidos deve ser analisada sob os princípios de sustentabilidade social e ambiental e principalmente do aspecto da viabilidade econômica. No Brasil, na maioria das vezes, os recursos financeiros disponíveis são muito limitados. Dessa maneira, quanto mais baixo o custo, maior será a oportunidade de implantação. Vale salientar que o custo varia em função da tecnologia escolhida, da vazão tratada e da eficiência desejada para o tratamento do efluente. A simplicidade operacional é essencial para a manutenção e controle, mas também depende da tecnologia empregada no tratamento e dos equipamentos incorporados no sistema.

Na geração de energia elétrica a partir de biogás deve-se considerar que é utilizado um gás combustível de baixo custo por ser resultante do processo de digestão anaeróbia. O biogás normalmente é desprezado tanto na emissão direta para a atmosfera quanto na combustão direta em queimadores, para minimizar os efeitos prejudiciais do metano como gás de efeito estufa.

A produção de biogás depende diretamente das condições de manutenção e operação do biodigestor e do resíduo. Conforme os dados obtidos, junto à literatura, a produção diária de biogás foi de 1.837,7 m<sup>3</sup>. Dessa maneira, a produção de biogás foi estimada em 670.760,5 m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>.

O biogás produzido foi utilizado diretamente no sistema de conversão de energia elétrica, o qual opera durante 10,5 horas.dia<sup>-1</sup>, em média, com exceção de domingos

e feriados, pois não houve atividade na Agroindústria. Assim, foi estimado um período de 26 dias por mês e 312 dias de operação por ano, que resultou em 3.276 horas de operação por ano.

O consumo específico de biogás pelo conjunto motor-gerador foi de  $22 \text{ m}^3.\text{hora}^{-1}$ . O consumo de biogás foi de  $72.072 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ . Este consumo representou aproximadamente 10,74% do volume de biogás produzido pela planta. O biogás excedente foi queimado.

### 6.1 Geração de energia elétrica

O benefício com a geração de energia elétrica foi estimado em função da tarifa de energia elétrica paga pelo produtor. Nos períodos, seco (Maio a Novembro) e úmido (Dezembro a Abril) do ano há uma diferenciação no preço das tarifas em função do regime pluviométrico que as hidroelétricas consideram para a formação dos preços das tarifas de energia elétrica.

Também há uma diferenciação nos preços da tarifa de energia elétrica nos horários de ponta, das 18:00 as 21:00h, e fora de ponta, demais horas do dia, respectivamente. O conjunto motor-gerador opera, em média, das 7:00 as 17:30h. Dessa maneira foi considerada a tarifa cobrada no horário fora de ponta (Tabela 6).

Tabela 6. Preço do kWh cobrado pela concessionária de energia elétrica.

	Período Seco	Período Úmido
	R\$.KW.hora <sup>-1</sup>	R\$.KW.hora <sup>-1</sup>
Tarifa no horário de ponta (das 18:00 as 21:00h)	0,694	0,671
Tarifa no horário fora de ponta (demais horas do dia)	0,165	0,151

Fonte: COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ (2008)

Portanto, o benefício com a geração de energia elétrica foi estimado considerando o consumo médio de energia elétrica em função do número de horas de operação do grupo gerador. Conforme os dados obtidos (Figura 12), o consumo médio diário foi de 17,1

$\text{kW.h}^{-1}$ , durante  $10,5 \text{ horas.dia}^{-1}$ , num período de  $26 \text{ dias.mês}^{-1}$ , com um total de  $3.276 \text{ horas.ano}^{-1}$ .

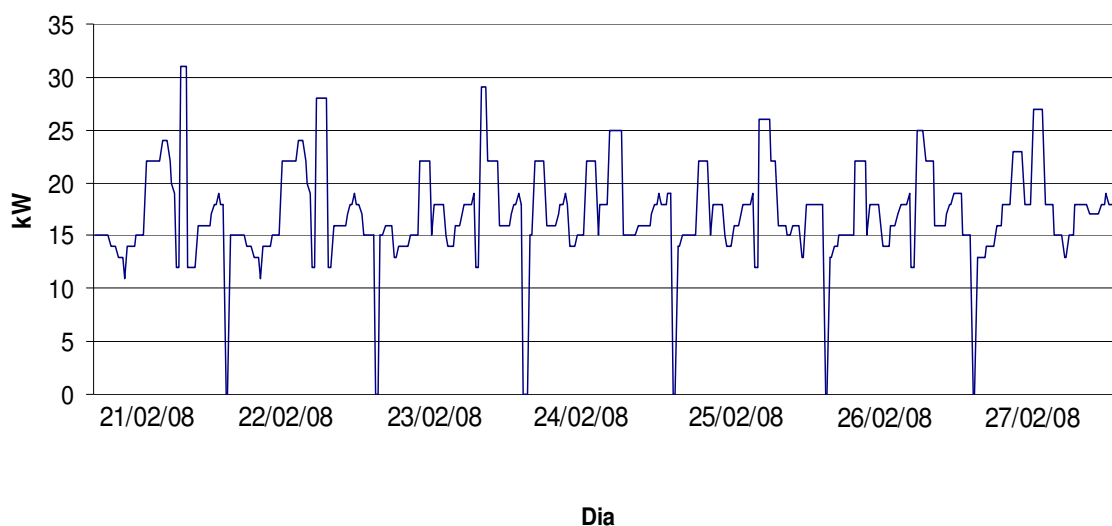


Figura 12. Medições do consumo de energia elétrica.

Foram consideradas as tarifas de energia tanto no período “seco” quanto no período “úmido” do ano no horário fora de ponta. Assim, o benefício com a geração de energia elétrica foi ponderado considerando a tarifa de  $\text{R\$ } 0,165.\text{kWh}^{-1}$ , por um período de 7 meses, e  $\text{R\$ } 0,151.\text{kWh}^{-1}$ , por um período de 5 meses que resultou num benefício de  $\text{R\$ } 8.916,45.\text{ano}^{-1}$ .

O gerador apresentou o parâmetro de tensão trifásica de 220V. A corrente máxima a ser solicitada pela carga instalada pode ser de 131,82 A. No entanto, apesar do grupo gerador disponibilizar 40 kW de consumo máximo, as medições indicam que o consumo médio está em 17,1 KW, ou seja, 56,35A. Portanto, utiliza apenas 43% da energia gerada disponível pelo gerador.

## 6.2 Produção de biofertilizante

Considerando que são produzidos  $16,10 \text{ m}^3$  de biofertilizante por dia. A geração anual foi de  $5.876,50 \text{ m}^3$ . Conforme os dados obtidos, a moto-bomba opera durante

3 dias por semana, num período médio de 8 horas por dia. Também apresentou uma vazão de 2.250 L.hora<sup>-1</sup>. Assim, verificou-se um volume de 18m<sup>3</sup> por aplicação diária, que resultou num volume de 2.808m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>. Isso indicou que se utiliza apenas 47,78% do total de biofertilizante produzido anualmente para irrigação de pastagens.

Foram analisadas amostras do biofertilizante no Laboratório de Fertilizantes e Corretivos da Faculdade de Ciência Agronômicas – Unesp, Campus de Botucatu-SP, as quais apresentaram as seguintes concentrações de macronutrientes: Nitrogênio (0,91 g.L), Fósforo (0,33 g.L<sup>-1</sup>) e Potássio (0,30 g.L<sup>-1</sup>). Assim, o benefício com a produção de biofertilizante foi estimado de acordo com a quantidade de macronutrientes presentes no efluente do biodigestor em função dos preços médios dos nutrientes praticados no Estado de São Paulo no triênio 2006-2008 (Tabela 7). Os preços dos macronutrientes foram deflacionados pelo IGP-M.

Tabela 7. Benefício gerado com a aplicação de biofertilizante.

	Aplicação de fertilizante (kg.ano <sup>-1</sup> )	Aplicação de nutriente (kg.ano <sup>-1</sup> )	Preço do fertilizante (R\$.kg <sup>-1</sup> )*	Total (R\$.ano <sup>-1</sup> )
Uréia (45% N)	5.678,4	2.555,28	1,55	8.801,52
Superfosfato Simpes (20% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	4.633,2	926,64	0,87	4.030,88
Cloreto de Potássio (60% K <sub>2</sub> O)	1.404	842,40	1,46	2.049,84
<b>Total</b>				<b>14.882,24</b>

\* Fonte: INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA, 2009.

O somatório de benefício do sistema foi de R\$ 23.798,69.ano<sup>-1</sup>, onde foi estimada uma receita de R\$ 8.916,45.ano<sup>-1</sup> com a geração de energia elétrica e R\$ 14.882,24 ano<sup>-1</sup> com a produção de biofertilizante.

### 6.3 Investimento inicial

O investimento inicial foi determinado através de um levantamento de custos. Foram considerados: os custos com a construção do biodigestor e abrigo do grupo gerador, os custos com a aquisição dos equipamentos e o valor pago pela mão-de-obra de

instalação. Os valores relativos à mão-de-obra foram calculados com base nos valores pagos em função das horas de trabalho dos empregados. Os custos unitários foram determinados através de cotações realizadas em Fevereiro de 2008, na região de Botucatu-SP, e de comprovantes de pagamento fornecidos pela agroindústria em estudo. O investimento inicial foi estimado em R\$ 51.537,17 (Tabelas 8 a 12).

Tabela 8. Custos com a construção do biodigestor.

<b>Caixa de entrada (3x4x1,2) 14,4 m<sup>3</sup></b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo unitário(R\$)</b>	<b>Sub-Total</b>
Concreto (Traço 1:2:3)	-	-	-	-
Cimento	sacos	30	22,00	660,00
Areia grossa	m <sup>3</sup>	2	29,00	58,00
Brita 2	m <sup>3</sup>	3	54,00	162,00
Argamassa assentamento/revestimento (Traço 1:4)	-	-	-	-
Cimento	sacos	10	22,00	220,00
Areia média	m <sup>3</sup>	2	30,00	60,00
Parede de 1 tijolo (19,2m <sup>2</sup> )	Milheiro	3	175,00	525,00
<b>Ferragem</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo unitário(R\$)*</b>	<b>Sub-Total</b>
Malha (10x10 cm) ferro 1/4"	m <sup>2</sup>	16	30,00	480,00
Barras de ferro 3/8"	unidades	8	22,50	180,00
Estribos de 1,4mx1/4"	unidades	18	9,70	174,60
Barras de ferro 1/4"	unidades	17	9,70	164,90
Arame recozido para fixação dos estribos	Kg	2	6,00	12,00
<b>Tubulação</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo unitário(R\$)*</b>	<b>Sub-Total</b>
Canos de 200 mm	unidades	24	28,00	672,00
Curva de PVC de 200 mm	unidades	3	32,00	96,00
T de 200 mm	unidades	2	24,00	48,00
Flange (saída para 2 polegadas)	unidades	3	15,00	45,00
<b>Caixa de saída (1,2x1,2x1,0) 1,44 m<sup>3</sup></b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo unitário(R\$)*</b>	<b>Sub-Total</b>
Concreto (Traço 1:2:3)	-	-	-	-
Cimento	saco	1	22,00	22,00
Areia grossa	m <sup>3</sup>	1	29,00	29,00
Brita 2	m <sup>3</sup>	1	54,00	54,00
Argamassa assentamento/revestimento (Traço 1:4)	-	-	-	-
Cimento	sacos	1,5	22,00	33,00
Areia média	m <sup>3</sup>	2	30,00	60,00
Parede de 1/2 tijolo (1,44m <sup>2</sup> )	Milheiro	0,10	175,00	17,50
<b>Canaletas para a fixação das mantas plásticas</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo unitário(R\$)*</b>	<b>Sub-Total</b>
Concreto (Traço 1:2:3)	-	-	-	-
Cimento	sacos	70	22,00	1.540,00
Areia grossa	m <sup>3</sup>	5	29,00	145,00
Brita 2	m <sup>3</sup>	8	54,00	432,00
Concreto para 35 brocas (Traço 1:2:3)	-	-	-	-
Cimento	sacos	25	22,00	550,00
Areia grossa	m <sup>3</sup>	2	29,00	58,00
Brita 2	m <sup>3</sup>	2	54,00	108,00

Parabolt aço galvanizado	unidades	231	3,00	693,00
Porcas	unidades	231	0,25	57,75
Arruelas	unidades	231	0,10	23,10
Chapas de ferro de 1" por 1/8	unidades	231	0,50	115,50
<b>Manta plástica de PVC 1 mm de espessura</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo unitário(R\$)*</b>	<b>Sub-Total</b>
Manta plástica inferior área(m²)	m²	289,8	10,20	2.955,96
Manta plástica superior área(m²)	m²	289,8	12,70	3.680,46
<b>Outros materiais</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo unitário(R\$)*</b>	<b>Sub-Total</b>
Tábua de Itaúba de 2 cm	m²	9	25,00	225,00
Mangueira para biogás 2 polegadas	metros	400	1,50	600,00
Cola para cano PVC	unidade	2	10,00	20,00
<b>Total material</b>				<b>14.976,77</b>
<b>Escavação</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo unitário(R\$)*</b>	<b>Sub-Total</b>
Máquina	Hora/máquina	5	60,00	300,00
<b>Total</b>				<b>15.276,77</b>

Tabela 9. Custos com a construção do abrigo do grupo gerador.

Abrigo do grupo gerador	Unidade	Quantidade	Custo unitário(R\$)	Sub-Total
Concreto traço (1:2:3)	-	-	-	-
Cimento	sacos	2	22,00	44,00
Areia grossa	m³	1	29,00	29,00
Brita 2	m³	1	54,00	54,00
Argamassa assentamento/revestimento (Traço 1:4)	-	-	-	-
Cimento	sacos	1	22,00	22,00
Areia média	m³	1	30,00	30,00
Tijolos de 8 furos	Milheiro	0,350	377,00	131,95
Telha ondulada (1,83 m x 1,1 m)	unidades	10	22,50	225,00
Madeira	m	25	10,00	250,00
<b>Total</b>				<b>785,95</b>

Tabela 10. Custos com as instalações elétricas.

Instalações elétricas	Unidade	Quantidade	Custo unitário(R\$)	Sub-Total
Quadro de comando de (600x500x200)mm	unidades	1	218,00	218,00
Chave sec. NH00 de 160A	unidades	1	138,00	138,00
Fusíveis NH00 de 100 A	unidades	3	17,15	51,45
Duto corrugado de 50mm	metros	100	2,33	233,00
Cabo # 25mm² 0,6/1kv cor preto	metros	300	9,80	2.940,00
Cabo # 16mm² 0,75kv- cor verde (terra)	metros	100	5,30	530,00
<b>Total</b>				<b>4.110,45</b>

Tabela 11. Custos com a aquisição do conjunto motor-gerador.

<b>Conjunto Motor-gerador</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo unitário(R\$)</b>	<b>Sub-Total</b>
Grupo motor/gerador de energia 50 KVA	unidade	1	26.000,00	26.000,00
Compressor Radial 1 CV	unidade	1	2.594,00	2.594,00
<b>Total</b>				<b>28.594,00</b>

Tabela 12. Custos com mão-de-obra para a implantação.

<b>Mão-de-obra</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo unitário(R\$)</b>	<b>Sub-Total</b>
Mão-de-obra eletricista	diárias	10	90,00	900,00
Mão-de-obra pedreiro	diárias	25	45,00	1.245,00
Mão-de-obra assistente	diárias	25	25,00	625,00
<b>Total</b>				<b>2.770,00</b>

#### 6.4 Custo anual do sistema

Os custos anuais do sistema foram considerados como: custos de depreciação, juros sobre o capital investido e custos de manutenção e operação (Tabelas 13 a 15).

Tabela 13. Custos de depreciação dos bens depreciáveis.

Custos de depreciação	Valor inicial (R\$)	Valor final* (R\$)	Vida útil (anos)	Depreciação (R\$.ano <sup>-1</sup> )
Biodigestor Alvenaria e outros materiais	8.340,35	-	20	417,02
Abrigo do conjunto motor-gerador	785,95	-	20	39,30
Manta plástica do biodigestor	6.636,42	-	10	663,64
Instalações elétricas	4.110,45	-	10	411,05
Conjunto motor-gerador	28.594,00	-	10	2.859,40
<b>Total</b>				<b>4.390,40</b>

\*Não foi considerado o valor final dos materiais e equipamentos depreciáveis.

Tabela 14. Juros sobre o capital investido (r = 5,64%a.a.).

Capital investido r=5,64%a.a.	Valor inicial (R\$)	Valor final* (R\$)	Juros (R\$.ano <sup>-1</sup> )
Biodigestor Alvenaria e outros materiais	8.340,35	-	235,20
Abrigo do conjunto motor-gerador	785,95	-	22,16
Manta plástica do biodigestor	6.636,42	-	187,15

Instalações elétricas	4.110,45	-	115,91
Conjunto motor-gerador	28.594,00	-	806,35
<b>Total</b>			<b>1.366,77</b>

\*Não foi considerado o valor final dos materiais e equipamentos.

O custo anual de manutenção do grupo gerador foi calculado considerando os intervalos de manutenção de cada componente. Foi estimado em 3.276 horas anuais o período de utilização do grupo gerador ( $10,5 \text{ horas.dia}^{-1} \times 312 \text{ dias.ano}^{-1}$ ). O gasto anual com a manutenção do grupo gerador foi definido pela Equação 12.

Tabela 15. Manutenção preventiva do grupo gerador.

Componente	Intervalo (horas)	Custo de operação e manutenção (R\$)	Custo anual de operação e manutenção (R\$)
Óleo lubrificante	Troca de óleo a cada 100 horas	80,00	2.620,80
Filtro de óleo	Troca de filtro de óleo a cada 400 horas	52,00	425,88
Sistema de combustível	Limpeza dos filtros a cada 200 horas	15,00	245,70
	Limpeza da válvula de gás a cada 2.000 horas	15,00	24,57
Filtro de ar	Limpeza a cada 1.000 horas	15,00	49,14
	Troca do filtro de ar a cada 2.000 horas	86,00	140,87
Sistema de refrigeração	Troca do líquido refrigerante, da correia dentada e do esticador da correia a cada 1.000 horas.	220,00	720,72
Alternador	Troca da correia e do jogo de velas a cada 1.000 horas	200,00	655,20
	Troca dos rolamentos a cada 2.000 horas	100,00	163,80
Rolamento do gerador	Lubrificar a cada 1.000 horas	20,00	65,52
<b>Total</b>			<b>5.112,20</b>

A operação do grupo gerador é diária e exige a presença de um funcionário que é responsável pela ignição e desligamento do motor, limpeza e zelo das instalações. Esta operação tem uma duração aproximada de 40 minutos.

O custo da mão-de-obra para manter o biodigestor em operação é muito baixo, uma vez que a tecnologia permite uma maior autonomia do sistema. Faz-se necessária apenas uma limpeza anual para a remoção do lodo precipitado no biodigestor e da



crosta que se forma na superfície. Por ser uma operação extraordinária a qual é realizada com a mobilização de outros funcionários da agroindústria em estudo, não foi considerada como um item de custo. O salário mínimo rural médio do funcionário mensalista foi de R\$ 525,68, conforme o Escritório de Desenvolvimento Rural de Botucatu-SP, (INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA, 2009).

Assim, para o cálculo da mão-de-obra necessária para a manutenção foi considerado o tempo de operação exigido, estimado em 200 horas.ano<sup>-1</sup>, em função do gasto com salário por hora pago pela agroindústria em estudo, estimado em R\$ 2,98.hora<sup>-1</sup>, que resultou num total de R\$ 596,00.ano<sup>-1</sup>.

Os gastos totais com manutenção e operação do biodigestor e grupo gerador foram de R\$ 5.708,20.ano<sup>-1</sup>. Esse custo representou aproximadamente 11,08% do investimento inicial para a implantação do sistema.

Os custos anuais de depreciação, juros sobre o capital investido e manutenção e operação do sistema foram estimados em R\$11.465,37.

## 6.5 Análise econômica

O fluxo de caixa do projeto foi estimado considerando-se um período de 10 anos de vida útil porque corresponde com a vida útil do grupo gerador de energia elétrica, bem de maior valor econômico, e descontado a uma taxa de desconto de 6% ao ano. Assim, o projeto foi analisado segundo os indicadores: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Relação Benefício-Custo (RBC) e Período de recuperação do capital( *Payback* ).Os benefícios totais foram estimados em R\$ 23.798,69.ano<sup>-1</sup> e os custos totais foram de R\$ 11.465,37.ano<sup>-1</sup>. Isso indica que os benefícios são maiores que os custos.

Todos os indicadores de viabilidade econômica apresentaram resultados favoráveis, (Tabela 16), com um investimento inicial de R\$ 51.537,17, ano “zero”, interpretado como ano base, e fluxo de caixa de R\$ 12.333,32 do 1º ao 10º ano, o VPL foi de R\$ 39.237,14, TIR: 20,10%, RBC: 1,76, *Paypack* de 4,18 anos e *Payback* econômico de 4,95 anos, considerando-se um horizonte de projeto de 10 anos. No entanto, são gerados excedentes de energia elétrica e biofertilizante que não são aproveitados no sistema biointegrado, e nem são vendidos. Isto demonstra que o investimento no sistema foi superdimensionado.

Tabela 16. Indicadores de viabilidade econômica.

Indicador	Unidade	Consumo médio de energia elétrica (17,1 kW.hora <sup>-1</sup> )
VPL	R\$	39.237,14
TIR	%	20,10
RBC	Índice	1,76
PBS	Anos	4,18
PBE	Anos	4,95

Para a análise de sensibilidade foram simulados cenários de consumo de energia elétrica, média diária, de 20, 25, 30, 35 e 40 kW (Tabela 17). Os dados indicam que quanto mais o consumo de energia elétrica se aproxima da capacidade máxima de geração de energia do grupo gerador (40kW), menor será o tempo de retorno sobre o investimento realizado e conseqüentemente maiores serão os benefícios financeiros.

Tabela 17. Simulação do consumo médio de energia elétrica.

Indicador	Unidade	20 kW.hora <sup>-1</sup>	25 kW.hora <sup>-1</sup>	30 kW.hora <sup>-1</sup>	35 kW.hora <sup>-1</sup>	40 kW.hora <sup>-1</sup>
VPL	R\$	50.366,69	69.555,55	88.744,40	107.933,25	127.122,10
TIR	%	23,65%	29,52%	35,17%	40,65%	46,03%
RBC	Índice	1,98	2,35	2,72	3,09	3,47
PBS	Anos	3,72	3,13	2,70	2,38	2,12
PBE	Anos	4,34	3,58	3,04	2,65	2,35

Souza et al (2004) em estudo numa propriedade rural típica contendo aviário, pocilga, fábrica de ração e residência estimaram uma carga utilizada estimada em 39 kW. Dessa maneira, constataram que seriam necessárias 258 matrizes de suínos com capacidade de gerar, cada uma, 0,775m<sup>3</sup> de biogás por dia, para instalação de um grupo gerador de energia de 40kW. Para a análise econômica consideraram uma taxa de desconto de 8% ao ano, e custos de operação manutenção de 4% do investimento inicial para a implantação do sistema. Os autores concluíram que para uma tarifa de energia elétrica de R\$0,19.kWh<sup>-1</sup> o tempo de recuperação do investimento é de 5,4 anos. Também apontaram que o retorno do investimento depende da tarifa de energia paga pelo produtor e da disponibilidade da planta.

Zago (2003) avaliou o potencial de produção de energia elétrica através do biogás, na região do meio oeste catarinense, e constatou que para a criação de suínos com uma produção média de 50 m<sup>3</sup> de biogás.dia<sup>-1</sup> tem a capacidade de gerar aproximadamente 2.160 kWh.mês.<sup>-1</sup> de energia elétrica. Também observou que com a

utilização de um sistema que seja capaz de gerar 25 KVA.h<sup>-1</sup> de potência elétrica, as propriedades podem se tornar auto-suficientes em energia elétrica. O consumo de biogás observado pelo autor varia entre 16 a 25 m<sup>3</sup>.hora<sup>-1</sup> no grupo gerador estacionário para a geração de energia elétrica e que isso depende da potência elétrica gerada. O estudo destacou que o empreendimento passa ser viável economicamente quando a propriedade possui capacidade de produção de 200 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup> de biogás que pode gerar aproximadamente 300 kVAh.dia<sup>-1</sup>.

Coldebella (2006) constatou que são necessários R\$ 120.000 para a implantação de um biodigestor e grupo gerador de energia elétrica com capacidade de geração de energia elétrica de 36 kWh numa propriedade com 1.000 porcas reprodutoras em criação de leitões. Também relatou que são produzidos 933m<sup>3</sup> de biogás diariamente. O autor destaca que o custo de do m<sup>3</sup> de biogás produzido na propriedade está diretamente relacionado com a capacidade de produção de biogás em função do investimento necessário. Assim, para a utilização do sistema durante 10 horas. dia<sup>-1</sup> apresentou um custo de R\$ 0,063.m<sup>-3</sup> de biogás. O estudo concluiu através de uma análise econômica que com uma tarifa de energia elétrica de R\$0,30.kWh<sup>-1</sup> o retorno do investimento é de 2,7 anos quando há utilização simultânea do motor-gerador de energia elétrica durante 10 horas.dia<sup>-1</sup> e da moto-bomba durante 12 horas.dia<sup>-1</sup> para aplicação do biofertilizante em pastagens. O autor também avaliou que com uma produção de 85m<sup>3</sup> de biofertilizante por dia há uma disponibilidade de 78 toneladas de nitrogênio por ano que resulta numa economia de R\$ 70.200,00.ano<sup>-1</sup>, se for considerado o biofertilizante como fonte de nitrogênio.

## 7 CONCLUSÃO

O sistema biointegrado é uma boa alternativa para o tratamento dos dejetos da suinocultura e apresenta resultados econômicos favoráveis quando são corretamente dimensionados tecnicamente. Em conformidade com as informações apresentadas neste trabalho e com os resultados obtidos, destacam-se as seguintes conclusões: são gerados excedentes de energia elétrica, biofertilizante e biogás que não são aproveitados no sistema biointegrado, e nem são vendidos; o sistema biointegrado foi superdimensionado em sua estruturação de custos frente aos benefícios proporcionados; e a utilização do grupo gerador de energia elétrica próxima da sua capacidade máxima traz maiores benefícios financeiros num menor período de tempo.

## 8 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Estabelece a equalização das taxas anuais de depreciação para os ativos de uso e características semelhantes, no âmbito da distribuição e da transmissão de energia elétrica, constantes da Resolução nº 44, de 17 de março de 1999. Resolução n. 240, de 5 de dezembro de 2006. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, v. 143, n. 146, p. 44, 1 ago. 2006. Seção 1. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2006240.pdf>>. Acesso em 31 out. 2008.

ANGONESE, A.; CAMPOS, A. T.; ZACARKIM, C. E. Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamento dos resíduos em biodigestor. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 10, n. 3, p. 745-750, jul./set. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA. Disponível em: <<http://www.abipecs.org.br/>>. Acesso em 18 Set. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 1054: instalações elétricas de baixa tensão**. São Paulo. 2004. Disponível em: <<http://www.pdf-search-engine.com/download-normas-nbr-pdf.html>>. Acesso em 27 Abr. 2009.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional 2007**. Brasília, DF, 2008a. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/BEN2007\\_Versao\\_Completa.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/BEN2007_Versao_Completa.pdf)>. Acesso em: 13 out. 2008a.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balço energético nacional 2008**: resultados preliminares. Brasília, DF, 2008b. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados\\_Pre\\_BEN\\_2008.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2008.pdf)>. Acesso em: 13 out. 2008.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 22 ago 2009.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 15 Ago. 2006.

CASAROTTO FILHO N.; KOPITTKE, B. H. **Análise de investimentos**: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial. 10. ed. São Paulo: Atlas, 2007. 468 p.

COELHO, S. T. **Biofuels**: advantages and trade barriers. Genebra: UNCTAD; DITC; TED, 2005. Disponível em: <[http://www.unctad.org/en/docs/ditcted20051\\_en.pdf](http://www.unctad.org/en/docs/ditcted20051_en.pdf)>. Acesso em: 23 set. 2008.

COLDEBELLA, A. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. Dissertação. 2006. 73 f. (Mestrado em Engenharia Agrícola / Engenharia de Sistemas Agroindustriais) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2007**. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/publicacoes.asp>>. Acesso em: 23 set. 2008.

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. **Taxas e tarifas**. Campinas, 2008. Disponível em: <[http://agencia.cpfl.com.br/portal-servicos/paulista/taxas\\_tarifas.asp](http://agencia.cpfl.com.br/portal-servicos/paulista/taxas_tarifas.asp)>. Acesso em: 31 out. 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Resolução n. 357, de 17 de Março de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005. Seção 1.

Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 16 set. 2008.

CORREIA, E. L. **A retomada do uso de álcool combustível no Brasil**. 2007. 86 f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada)-Faculdade de Economia e Administração, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2007.

COUTO, Luiz Carlos, COUTO, Laércio, FARINHA, Luciano, BARCELLOS, Daniel Câmara. Vias de Valorização Energética de Biomassa. **Biomassa e Energia**. Viçosa, v.1, n.1, p.71 - 92, 2004.

CUNHA, A.R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**. Botucatu, v.14, n.1, p1-11, 2009.

ECOSECURITIES. **NovaGerar landfill gas to energy project**: project design document. Oxford, 2004. Disponível em: <[http://www.dnv.com/certification/climatechange/Upload/PDD\\_NovaGerar%20\\_2004-02-13.pdf](http://www.dnv.com/certification/climatechange/Upload/PDD_NovaGerar%20_2004-02-13.pdf)>. Acesso em: 12 jan. 2006.

ESPERANCINI, M. S. T. et al. Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do Estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p.110-118, 2007.

FEIDEN, A. et al. Avaliação da eficiência de um biodigestor tubular na produção de biogás a partir de águas residuárias de suinocultura. Campinas: UNICAMP, FEAGRI, 2004. Disponível em:<<http://www.feagri.unicamp.br/energia/agre2004/Fscommand/PDF/Agrener/Trabalho%2056.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2008.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor**: um estudo de caso na região de Toledo - PR. 2003. 106 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Estratégia Organizacional)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GIROTTO, A. F.; STÜLP, V. J. O biodigestor como alternativa energética para a pequena rural. **Revista Economia e Sociologia Rural**, Brasília, DF, v. 27, n. 1, p. 5-19, 1989.

GOLDEMBERG J. The Case for renewable Energy. Thematic background paper for the International Conference for Renewable Energies, Bonn, Alemanha, 2004. Disponível em: <<http://www.renewables-bonn-2004.de/pdf/tbp/TBP01-rationale.pdf>> Acesso em 10 Set 2008.

GOLDEMBERG, J. The promise of clean energy. **Energy Policy**, Elsevier, v. 34, n. 15, p. 2185-2190, Oct. 2006.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 7-20, jan./abr. 2007.

GONÇALVES, M. **Avaliação de investimento em reflorestamento de *pinus* sob condições de incerteza**. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciências/Programação Matemática)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

GUARDABASSI, P. M. **Sustentabilidade da biomassa como fonte de energia: perspectivas para países em desenvolvimento**. 2006. 123 f. Dissertação (Mestrado em Energia)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Preços médios mensais pagos pela agricultura**. São Paulo, 2009. Disponível em: <[http://ciagri.iea.sp.gov.br/bancoiea/precor.aspx?cod\\_tipo=6&cod\\_sis=14](http://ciagri.iea.sp.gov.br/bancoiea/precor.aspx?cod_tipo=6&cod_sis=14)>. Acesso em: 20 abr 2009.

JORDAN, R. A. et al. Comparativo econômico do uso de uma bomba de calor para aquecimento e resfriamento de água em laticínios em relação ao aquecedor elétrico e o sistema de refrigeração convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, Foz do Iguaçu. **Anais...** Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004. 1 CD-ROM.

JUNGES, D. M; KLEINSCHMITT, S.C; SHIKIDA, P.F.A, SILVA, J.R da. Análise econômico-financeira da implantação do sistema de biodigestores no Município de Toledo (PR). **Revista de Economia**. Editora UFPR, V.35, n.1, p.7-30, Jan-Abr. 2009.

KONZEN, E. A. **Viabilidade ambiental e econômica de dejetos de suínos**. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2006. 27 p. (Documentos, 21).



LAPPONI, J. C **Projetos de investimento**: construção e avaliação do fluxo de caixa: modelos em Excel. São Paulo: Laponni, 2000. 376 p.

LABORATÓRIO NACIONAL DE REFERÊNCIA VEGETAL - LANARV. Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais. Brasília, 1988. 104p.

LUCAS JÚNIOR, J. **Estudo comparativo de biodigestores modelo Indiano e Chinês**. 1987. 114 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)–Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 1987.

MENEGUELLO, L. A.; CASTRO, M. C. A. A. de. O protocolo de Kyoto e a geração de energia elétrica pela biomassa da cana-de-açúcar como mecanismo de desenvolvimento limpo. **Interações**, Campo Grande, v. 8, n. 1, p. 33-43, mar. 2007.

MIRANDA, H. A. **Influência da recirculação de efluentes e do tempo de retenção no desempenho de biodigestores operados com estrume de suínos**. 1991. 137 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1991.

NOGUEIRA, C. E. C.; ZÜRN, H. H. Modelo de dimensionamento otimizado para sistemas energéticos renováveis em ambientes rurais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 341-348, maio/ago. 2005.

NOGUEIRA, E. Análise de investimentos. In: BATALHA, M. O. **Gestão agroindustrial**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2001. v. 1, 692 p.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão**: a alternativa energética. São Paulo: Nobel, 1986. 93 p.

OLIVEIRA, P. A. V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA, Centro Nacional Suínos e Aves, 1993. 188 p. (Circular técnica, n. 27).

ORSOLON, M. Crédito de carbono. **Potência**, São Paulo, n. 14, p. 16-26, abr. 2006.

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. 152 f. Dissertação (Mestrado em Energia)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PERDOMO, C. C. ; LIMA, G. J. M. M. ; NONES, K. . Produção de suínos e meio ambiente. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA SUINOCULTURA, 9, 2001, Concórdia, SC. **Anais...** Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 2001, p.08-24.

RANZI, T. J. D.; ANDRADE, M. A. N. Estudo de viabilidade de transformação de esterqueiras e bioesterqueiras para dejetos de suínos em biodigestores rurais visando o aproveitamento do biofertilizante e do biogás. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA, 5., 2004, Campinas. **Anais...** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2004. 1 CD-ROM.

ROVERE, E. L.; COSTA, C. do V.; DUBEUX C. B. S. Aterros sanitários no Brasil e o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL): oportunidades de promoção de desenvolvimento sócio-ambiental. 2005. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/textos/28-La%20Rovere%20E.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2007.

SANTOS, P. **Guia técnico de biogás**. Portugal: Centro para a Conservação de Energia, 2000. 117 p.

SEIXAS, J.; FOLLE, S.; MACHETTI, D. **Construção e funcionamento de biodigestores**. Brasília, DF: EMBRAPA, DID, 1980. 60 p. Circular técnica, 4.

SEVRIN-REYSSAC, J.; LA NOÛE, J.; PROULX, D. **Le recyclage du lisier de porc par lagunage**. Paris: Lavoisier, 1995. 118 p.

SOUZA, R. G. **Desempenho do conjunto motogerador adaptado a biogás**. 2006. 40 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Máquinas e Automação Agrícola)– Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

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

SOUZA, S. N. M. et al. Viabilidade econômica de uso do biogás da bovinocultura para geração de eletricidade e irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais...** Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2006. 1 CD-ROM.

STAISS, C.; PEREIRA, H. Biomassa: energia renovável na agricultura e no setor florestal. Instituto Superior de Agronomia. **Revista Agros**, Portugal, n. 1, p. 21-28, 2001.

TAKITANE, I. C. **Produção de dejetos e caracterização de possibilidades de aproveitamento em sistemas de produção de suínos com alta tecnologia no Estado de São Paulo**. 2001. 148 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)–Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

TANGANELLI, K. M. **Utilização dos dejetos de suínos como fertilizante do solo – Oklahoma State University**. 2007. 21 f. Relatório de Estágio Curricular (Bacharelado em Engenharia Florestal)–Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

ZAGO, S. **Potencialidade de produção de energia através do biogás integrada à melhoria ambiental em propriedades rurais com criação intensiva de animais, na região do meio oeste catarinense**. 2003, 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2003.