

ANGELICA BUZINARO AVACI

CENÁRIO ECONÔMICO E ENERGÉTICO DA MICROGERAÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA PROVENIENTE DO BIOGÁS DA SUINOCULTURA

CASCABEL
PARANÁ – BRASIL
DEZEMBRO – 2012

ANGELICA BUZINARO AVACI

CENÁRIO ECONOMICO E ENERGÉTICO DA MICROGERAÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA PROVENIENTE DO BIOGÁS DA SUINOCULTURA

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do
Oeste do Paraná, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Energia na
Agricultura, para obtenção do título de Mestre em
Energia na Agricultura.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari
Souza

Co-orientador: Jair Antonio Cruz Siqueira

CASCABEL
PARANÁ – BRASIL
DEZEMBRO – 2012

A963c Avaci, Angelica Buzinaro
Cenário econômico e energético da microgeração de energia elétrica
proveniente do biogás da suinocultura. / Angelica Buzinaro Avaci—
Cascavel, PR: UNIOESTE, 2012.
76 p.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza
Co-orientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do
Paraná.
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na
Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.
Bibliografia.

1. Biogás - Suinocultura. 2. Energia renovável – Viabilidade
econômica. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 21.ed. 628.74

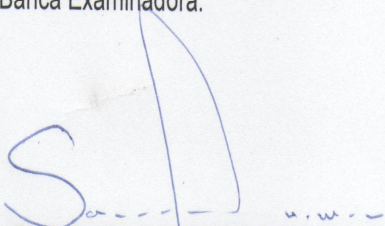
Dedico esta, assim como todas as demais conquistas, aos meus pais, Iliza e Antonio, por serem meus exemplos de honestidade, dedicação, seriedade e comprometimento.

ANGELICA BUZINARO AVACI

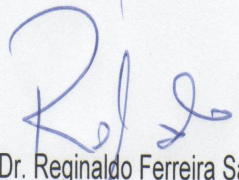
**“Cenário econômico e energético da microgeração de energia elétrica
proveniente do biogás da suinocultura”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, **aprovada** pela seguinte Banca Examinadora:

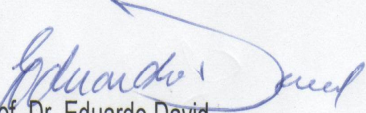
Orientador:



Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



Prof. Dr. Eduardo David
Universidade Estadual de Maringá – UEM/Cidade Gaúcha

AGRADECIMENTOS

A DEUS pela constante presença em minha vida e por todas as bênçãos que me concede, me guiando sempre pelos melhores caminhos e com as melhores pessoas.

A minha família, em especial meus pais, que sempre me apoiaram nas decisões que tomei.

Ao meu esposo Fernando, pelo apoio dado nos momentos alegres e tristes de minha vida.

Ao Prof. Dr. Samuel pela paciência e orientação no decorrer do mestrado.

Às secretárias do mestrado, Vanderléia Stockmann Schimidt e Tatiane Alves Pidorodeski, pela amizade, incentivo e atenção.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação Mestrado em Energia na Agricultura, pelos ensinamentos transmitidos.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro durante o período do curso de Pós-Graduação Mestrado em Energia na Agricultura.

A todos os meus amigos que de uma forma ou outra me incentivaram a finalizar mais esta etapa de minha vida.

Muito Obrigada!

Sumário

Introdução geral	7
Capítulo I – Biogás, biomassa e bioenergia.....	9
Resumo.....	9
1. Introdução	5
2. Revisão Bibliográfica	6
2.1 Fontes alternativas de energia.....	6
2.2 Produção de biogás.....	7
2.3 Processo de combustão do biogás.....	8
2.4 Poder calorífico Inferior	9
2.5 Benefícios do biogás.....	10
2.6 Aspectos da bioenergia	10
3. CONCLUSÕES.....	12
Capítulo II - Análise financeira da microgeração de energia elétrica via biogás da suinocultura.....	18
Resumo.....	18
1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 Resíduos rurais como fonte de energia	17
2.2 Fontes de energia renovável.....	18
2.3 Legislação e programas de incentivo à produção de energia elétrica	20
2.4 Cenário financeiro da produção de energia elétrica.....	24
2.5 Biodigestores.....	25
3. MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1 Caracterizações da área de Estudo	26
3.2 Equações para determinação de parâmetros financeiros e do custo de produção da energia elétrica.....	28
2.6 Índice de lucratividade	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
4.1 Cenário 1	32
4.2 Cenário 2	33
4.3 Cenário 3	34
5. CONCLUSÕES.....	40

Capítulo III - . Balanço energético da produção de biogás em sistema de terminação de suínos.....	46
Resumo.....	46
1. INTRODUÇÃO	43
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	44
2.1 Produção de suínos e digestão anaeróbia	45
3. MATERIAIS E MÉTODOS	49
3.1 Delimitação do sistema	49
3.2 Sistema de produção de suínos	49
3.3 Sistema de tratamento de dejetos.....	49
3.4 Matriz energética	50
3.5 Produção de energia elétrica	51
3.6 Coeficiente de eficiência energética	51
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	52
5. CONCLUSÕES.....	55
6. CONCLUSÕES GERAIS	56
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
8. ANEXOS.....	72

Índice de figuras

FIGURA 1 - FLUXOGRAMA DO USO DO BIOGAS. FONTE: WALSH ET AL. (1988) E CENTRO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA (CCE) (2000).....	20
FIGURA 2 - BIODIGESTORES DA GRANJA COLOMBARI (FONTE: MARQUES, 2012)	26
FIGURA 3 – MOTOR ACOPLADO AO GERADOR (CLEBER, 2012).....	27
FIGURA 4 - TEMPO DE RETORNO DE INVESTIMENTO (TRI) EM FUNÇÃO DO VALOR DA ENERGIA ELÉTRICA - 10 H D^{-1}	32
FIGURA 5- TEMPO DE RETORNO DE INVESTIMENTO (TRI) EM FUNÇÃO DO VALOR DA ENERGIA ELÉTRICA - 16 H DIA^{-1}	33
FIGURA 6 - TEMPO DE RETORNO DE INVESTIMENTO (TRI) EM FUNÇÃO DO VALOR DA ENERGIA ELÉTRICA- 20 H D^{-1}	34
FIGURA 7-VPL EM FUNÇÃO DO TRI E OPERAÇÃO DO MOTOR-GERADOR CONSIDERANDO 30% DO VALOR TOTAL DO BIODIGESTOR	36
FIGURA 8 - VPL EM FUNÇÃO DO TRI E OPERAÇÃO DO MOTOR-GERADOR CONSIDERANDO O VALOR TOTAL DO BIODIGESTOR SEM A VENDA DE CREDITO CARBONO.	37
FIGURA 9 - VPL EM FUNÇÃO DO TRI E OPERAÇÃO DO MOTOR-GERADOR CONSIDERANDO O VALOR TOTAL DO BIODIGESTOR COM A VENDA DE CREDITO CARBONO.....	37
FIGURA 10 - MATRIZ DA AGROENERGIA. FONTE: MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (2006).	47
FIGURA 11 -- SISTEMA DE PRODUÇÃO DE SUÍNOS DA GRANJA COLOMBARI.....	49
FIGURA 12 - EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS COMPONENTES DE ENTRADA PARA O CICLO PRODUTIVO NA FASE TERMINAÇÃO DE SUÍNOS.....	53
FIGURA 13 - EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS COMPONENTES DE SAÍDA PARA O CICLO PRODUTIVO NA FASE TERMINAÇÃO DE SUÍNOS.....	53

Índice de tabelas

TABELA 1 - MOTOR A BIOGÁS MWM 6.12T - CICLO DIESEL CONVERTIDO EM CICLO OTTO	27
TABELA 2 - GERADOR: GRAMACO / G2R 200MB 4.....	27
TABELA 3 - CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA ($\text{R}\$. \text{MWh}^{-1}$) PROVENIENTE DO BIOGÁS DA SUINOCULTURA VARIANDO O TEMPO DE PRODUÇÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE VIDA ÚTIL DO BIODIGESTOR.	32
TABELA 4 - CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA ($\text{R}\$. \text{MWh}^{-1}$) PROVENIENTE DO BIOGÁS DA SUINOCULTURA VARIANDO O TEMPO DE PRODUÇÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE VIDA ÚTIL DO BIODIGESTOR	33
TABELA 5 - CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA ($\text{R}\$. \text{MWh}^{-1}$) PROVENIENTE DO BIOGÁS DA SUINOCULTURA COM O TEMPO DE PRODUÇÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE VIDA ÚTIL DO BIODIGESTOR.....	34
TABELA 6 - CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA ($\text{R}\$. \text{MWh}^{-1}$) PROVENIENTE DO BIOGÁS DA SUINOCULTURA VARIANDO O TEMPO DE PRODUÇÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE VIDA ÚTIL DO BIODIGESTOR, COM INVESTIMENTO DE 30% DO TOTAL DO VALOR DO BIODIGESTOR.	36
TABELA 7- CUSTO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS ($\text{R}\$ \text{ m}^{-3}$).....	38
TABELA 8 - ÍNDICE DE LUCRATIVIDADE	39
TABELA 9 - COEFICIENTES ENERGÉTICOS DOS ITENS DE ENTRADA E SAÍDA.....	50
TABELA 10 - QUANTIDADE DE INSUMOS NECESSÁRIA PARA PRODUÇÃO DE SUÍNOS	52
TABELA 11 - QUANTIDADE DE ENERGIA PRODUZIDA NA SAÍDA DO CICLO	52

INTRODUÇÃO GERAL

A biomassa tem potencial para se tornar uma das alternativas de energia renovável com maior relevância no cenário atual. Tem um papel importante a desempenhar na gestão e no domínio da política climática atualmente. Sistemas integrados de bioenergia podem contribuir para a garantia de abastecimento futuro de energia e proporcionar uma matriz energética diversificada tanto para países desenvolvidos como para países em desenvolvimento.

Para a mitigação das mudanças climática, a bioenergia age através da redução de dióxido de carbono e por uma progressiva substituição de combustíveis fósseis para uma energia sustentável no futuro. De acordo com o protocolo de Quioto, a União Européia tem a meta de reduzir em 8% do nível de 1990 no período de 2008 a 2012. Além disso, tem o compromisso de aumentar a participação de energias renováveis em 12% do consumo bruto de energia. (Malkki e Virtanen, 2003; COM, 1997).

No Brasil, foi criado com base no Protocolo de Quioto, programas de âmbito federal e estadual que visam estimular a produção de alimentos de forma sustentável, diminuindo a agressão que tais atividades venham a provocar no meio ambiente.

A produção cárnea, principalmente de suínos, gera grande quantidade de dejetos que quando não tratada adequadamente traz problemas graves ao ambiente, como poluição de rios e mananciais, poluição do solo e cheiro desagradável as proximidades das granjas.

Os incentivos federais e as leis ambientais cada vez mais rígidas têm feito com que os produtores de suínos invistam pesado no tratamento dos dejetos para diminuir o impacto ambiental gerado. Entre os equipamentos o principal é o biodigestor. O biodigestor faz com que, na ausência de oxigênio as bactérias se degradam produzindo metano e dióxido de carbono em grande quantidade, dando origem ao biogás.

O biogás é usado em propriedades rurais para suprir a necessidade de energia em vários segmentos na propriedade. Uma delas é de energia elétrica. Quando instalado um motorgerador o mesmo transforma o biogás em energia elétrica.

A Unidade Granja Colombari localizado no município de São Miguel do Iguaçu – PR tem um projeto pioneiro de geração de energia via biogás. A propriedade

tem criação de suínos em fases de terminação. Chegam à propriedade com 20 quilos e saem com aproximadamente 120 quilos.

Este trabalho tem como objetivo a análise financeira e o balanço energético da produção de energia elétrica que é fundamental para analisar a viabilidade do projeto. Está dividido em três capítulos.

Capítulo I – Biomassa, biogás e bioenergia: descreve o cenário da bioenergia no Brasil, destacando a renovação da matriz energética nacional.

Capítulo II – Análise financeira da microgeração de energia elétrica via biogás da suinocultura: esse capítulo analisou financeiramente a produção de energia. Considerou-se o número de suínos, a produção de dejetos, o investimento inicial e a produção de biogás finalizando com o custo do MWh de energia produzida.

Capítulo III – Balanço energético da produção de biogás em sistema de terminação de suínos: foi feito o balanço energético do sistema delimitado da produção de suínos. Considera itens de entrada (ração, energia, trabalho humano, edificações e consumo de água) e saída (peso vivo dos leitões, biogás e biofertilizante).

Capítulo I - Biomassa, Biogás, Bioenergia

Resumo

A produção de bioenergia ganha força e estímulo no Brasil. A necessidade de renovação da matriz energética nacional, faz com que várias formas de produção de energia surjam de inúmeras fontes, tais como solar, eólica, biomassa, geotérmica entre outras. O país tem tradição em produzir energia limpa, no entanto não está sendo o suficiente para suprir a necessidade das indústrias, comércios e residências. Esse capítulo tem como objetivo mostrar o panorama da produção da bioenergia no país. Suas características, suas formas de produção e os estímulos feitos pelo governo federal. O biogás entra neste contexto pelo fato de ser uma fonte renovável e praticamente infinita. Com a demanda por alimentos aumentando, a necessidade de produção de produtos cárneos, faz com que ocorram problemas ambientais devido aos dejetos gerados. O tratamento dos dejetos com biodigestores resolve o problema ambiental evitando a contaminação de solos e rios e ainda produz biogás que é usado para produção de energia elétrica e para uso em residências das propriedades rurais. Também produz o biofertilizante, que é usado em pastagens reduzindo os custos de produção.

Chapter I - Biomass, Biogas, Bioenergy

Abstract

The production of bioenergy gains strength and encouragement in Brazil. The need for renewal of the national energy matrix, causes various forms of energy production arise from numerous sources, such as solar, wind, biomass, geothermal and others. The country has a tradition of producing clean energy, however is not enough to meet the need of industries, businesses and residences. This chapter aims to show the panorama of bioenergy production in the country. Their characteristics, their ways of production and stimuli made by the federal government. Biogas comes in this context because it is a renewable and virtually infinite. With the increasing demand for food, the need for production of meat products, means that there is an environmental problem due to the manure produced. The treatment of manure digesters to solve the environmental problem avoiding contamination of soils and rivers and still produces biogas that can be used to produce electricity for use in homes and rural properties. It also produces the biofertilizer, which is used in pastures reducing production costs.

1. Introdução

Os constantes apagões em várias regiões do país nos últimos anos têm levantado a questão da autossuficiência do Brasil na geração de energia elétrica. A produção de energia hidrelétrica responde por aproximadamente 74% do total produzido. No entanto, as constantes secas em bacias hidrográficas importantes do país propiciam a diminuição da produção de energia, gerando um déficit de energia para determinadas regiões do país.

A necessidade de ampliação e renovação da matriz energética brasileira faz com que outras fontes de energia limpa e renovável ganhem força no cenário nacional. É o caso do biogás. Há diversas formas de obtenção de biogás, entre elas, resíduos urbanos e resíduos rurais. No âmbito dos resíduos rurais, destaca-se a produção de dejetos suínos e bovinos, que geravam enorme transtorno aos produtores e hoje são utilizados para geração de energia elétrica desde que haja um tratamento correto destes resíduos.

Esse capítulo visa dar um panorama da produção de bioenergia no país, suas características e desafios, com ênfase na produção de energia com biogás.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Fontes alternativas de energia

Para reduzir a dependência humana dos combustíveis fósseis e conseqüentemente redução das mudanças climáticas, é preciso uma mudança para um sistema de energia totalmente renovável, sem a emissão de gases que causem o efeito estufa e que não agredam o meio ambiente (Cornelissen et al. 2012). A energia da biomassa vem desempenhando um papel de destaque na substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis (Karpenstein-Machan, 2001).

A crescente demanda por energia a nível mundial tem levado nações a incentivar o aumento de fontes alternativas. O Brasil é pioneiro em energia limpa. A principal matriz energética do país é a hidráulica, que é uma fonte renovável e sustentável. No entanto, o problema da geração hidroelétrica é o espaço de terras cultiváveis que ocupa, devido ao represamento da água. Visando novas fontes de energia alternativa para suprir a necessidade do país nos próximos anos, o governo tem incentivado a iniciativa pública e privada a encontrar novos meios de produzir energia.

Milhões de toneladas de resíduos sólidos são produzidos anualmente a partir de fontes industriais, urbanas e agrícolas. A decomposição desses resíduos orgânicos tem resultado em contaminação de larga escala de terras, mananciais e ar. De todas as formas de resíduos sólidos orgânicos, a mais abundante é o esterco animal, principalmente de pequenas propriedades, e é a partir destas propriedades que o problema de poluição proveniente da eliminação de resíduos é mais intenso. A investigação contínua sobre o tratamento de esterco animal para a produção de biogás e a otimização de métodos, podem ser usadas para o aumento da produção e maior aplicação da tecnologia. (Nasir et al. 2012).

Há pouco mais de 100 anos, a biomassa teve decréscimo na sua liderança como produtora de energia sendo substituída pela energia do carvão, petróleo e gás natural. O uso da biomassa ficou reduzido a pequenas propriedades agrícolas. No entanto, com a necessidade de reduzir o consumo de combustíveis fósseis, a biomassa residual se tornou a mais importante fonte de energia renovável (Cortez et al. 2008). Para Costa (2006) a diversificação da matriz energética é eminente e a biomassa é a maior responsável por tal mudança.

Conforme Marques (2012) as fontes de energia alternativa, em especial a biomassa, trazem soluções para o aumento de sustentabilidade ambiental. Resolvem também parte dos problemas vinculados ao aproveitamento de resíduos animais e orgânicos em áreas urbanas, com a produção de energia elétrica usando o biogás gerado pela digestão anaeróbia dos mesmos.

Como fontes de biomassa residual têm-se os resíduos vegetais não-lenhosos e de vegetais lenhosos como a madeira e seus resíduos, bem como os resíduos orgânicos, nos quais se enquadram os resíduos agrícolas, urbanos e industriais. No entanto, quando se busca disponibilidade específica de biomassa energética em determinada região, é importante que se considere questões de ordem ecológica, econômica e tecnológica. (Fernandes, 2012).

De acordo com Goldemberg e Lucon (2008), a biomassa tem um grande potencial para contribuir com o fornecimento de energia ao longo dos próximos anos. Previsões mostram que a biomassa sairá de um patamar de 1.313Mtep em 2010 para 3.271Mtep em 2040, tendo um aumento de mais de 100% ao longo de 30 anos. A Agência Internacional de Energia (AIE) calcula que nos próximos 20 anos, aproximadamente 30% do total de energia consumida pela humanidade será de fontes renováveis. Atualmente a energia renovável responde por 14% da energia ofertada mundialmente.

2.2 Produção de biogás

O biogás é uma fonte de energia renovável emergente que deriva a partir da conversão de biomassa de plantas e resíduos orgânicos em biocombustíveis através de decomposição anaeróbica. Ao longo da última década, o número de unidades de biogás tem aumentado significativamente em regiões industrializadas (Ward et al. 2008). O desenvolvimento da produção de biogás tem como resultante o aumento da produção de resíduos que são aplicados como biofertilizante na agricultura (Arthurson, 2009).

A fonte de geração de biogás divide-se de duas formas: digestão anaeróbia de resíduos orgânicos e gaseificação. Na digestão anaeróbia o biogás é produzido quando microorganismos degradam materiais orgânicos na ausência de oxigênio. A matéria-prima pode ser qualquer fração orgânica dos resíduos domésticos e resíduos agrícolas (suínos, bovinos, cama de aviário, vinhaça entre outros) (Lantz et al. 2007). Já na gaseificação podem ser usados resíduos vegetais lenhosos e não lenhosos que são

queimados em gaseificadores produzindo o biogás. Além da redução dos Gases do Efeito Estufa (GEE), o sistema de geração de biogás, entre outras coisas, reduz eutrofização, a poluição do ar e melhorar a utilização dos nutrientes agrícolas.

Em comparação com outros sistemas de bioenergia, os sistemas de produção de biogás são considerados os mais complexos, envolvendo vários agentes, como municípios, agricultores e empresas de energia juntamente com fatores que influenciam o sistema, agindo como formas de incentivos ou barreira. No entanto, os benefícios socioeconômicos e a viabilidade econômica de produção de biogás são limitados sob aspectos políticos do país (Lantz, 2004; Svensson et al. 2005). Os incentivos à produção de biogás vêm progredindo ao longo dos anos. Vários programas federais foram instituídos como forma de incentivar a sustentabilidade na produção agrícola. O Programa de Agricultura de Baixo Carbono (Programa ABC) implantado pelo Governo Federal tem como um dos objetivos o incentivo ao tratamento de resíduos animais, diminuindo os impactos ambientais e reduzindo emissão de GEE.

Do ponto de vista ambiental, os sistemas de produção de biogás são complexos para estudo, isso porque os impactos ambientais são exclusivos de cada sistema. As emissões provenientes da produção de biogás variam de acordo com a matéria-prima e com a composição do gás que é produzido. Ao avaliar o impacto ambiental e impactos de utilização de biogás, é necessário incluir as emissões de uso final e da cadeia de produção do combustível. As variações tornam impossível tirar qualquer conclusão sobre o impacto ambiental da produção de biogás (Borjesson e Berglund, 2006).

O biogás difere-se das formas tradicionais de energia rural de duas maneiras principais: primeiro, ele substitui combustíveis fósseis com metano limpo, o que reduz não só a liberação de gases de efeito estufa, mas também outras emissões prejudiciais; em segundo lugar, as várias formas de digestão anaeróbia, facilitando a utilização mais eficiente dos resíduos orgânicos (Collet et al. 2011; Rehl e Müller, 2011). Tais procedimentos são de particular importância para lidar com a pressão crescente dos problemas relacionados com a escassez de energia global e mudanças climáticas (Chen et al. 2012).

2.3 Processo de combustão do biogás

No processo de combustão, o combustível deve ser misturado a um comburente para que haja de fato a combustão. A reação de combustão completa do metano, contido no biogás, com oxigênio é (Biogasburner, 2011):



Onde um volume de metano requer dois volumes de oxigênio, para produzir um volume de dióxido de carbono e dois de vapor de água, assumindo-se que ha 58 % de metano no biogás e 21 % de oxigênio no ar (Souza, 2011).

Na combustão direta, o biogás é queimado em câmaras de combustão de turbinas a gás, caldeiras, aquecedores e secadores. O calor liberado na queima é utilizado em processos produtivos de geração de eletricidade. Também pode ser convertido em potência mecânica ou elétrica em motores de combustão interna. Os motores de combustão interna acoplados a geradores elétricos, chamados motores geradores, podem ser utilizados em propriedades rurais e agroindustriais, onde haja disponibilidade de biomassa residual e conseqüentemente biogás para a produção de energia elétrica.

2.4 Poder calorífico Inferior

O poder calorífico inferior (PCI) é usado para determinação do potencial teórico de energia contida nos combustíveis. Varia de acordo com a concentração de metano. Quanto maior o poder calorífico do biogás (PCI), maior a concentração de metano existente no biogás. A Tabela 1 mostra o poder calorífico inferior de alguns combustíveis. O peso específico e a densidade do biogás dependem diretamente da concentração de metano.

Tabela 1 - Poder calorífico inferior do biogás em função da composição química do biogás

Composição química do biogás	Peso específico (kg m ⁻³)	Poder Calorífico Inferior (kcal kg ⁻¹)
10% CH ₄ e 90% CO ₂	1, 8393	465,43
40% CH ₄ e 60% CO ₂	1,46	2333,85
60% CH ₄ e 40% CO ₂	1,2143	4229,98
65%CH ₄ e 35% CO ₂	1,1518	4831,14
75% CH ₄ e 25% CO ₂	1,0268	6253,01
95%CH ₄ e 5% CO ₂	0,7768	10469,60
99% CH ₄ e 1% CO ₂	0,7268	11661,02

FONTE: IANNICELLI (2008).

2.5 Benefícios do biogás

Considerando os benefícios ambientais, o uso do biogás tem sido defendido por estudiosos devido ao fato deste poluir menos a atmosfera com a menor emissão de GEE, ajudando a diminuir o aquecimento global. Sem contar a diminuição do desmatamento devido à substituição da lenha por biogás.

Do ponto de vista agrícola, ocorre a substituição dos derivados de combustíveis fósseis, ocorrendo economia com gastos de transporte. Aproveitam-se também os resíduos sólidos que são usados como adubos orgânicos: o biofertilizante. O biogás contribui para a melhora da qualidade de vida na área rural. É comum, ainda hoje, o uso de fogões a lenha e tratores movidos a diesel. Espera-se que com o aumento do uso do biogás, haja substituição destes combustíveis fósseis.

O uso de biodigestores vem crescendo consideravelmente durante os últimos anos. Isso porque além de gerar biogás e biofertilizante, ele resolve o problema de tratamento de resíduos, seja doméstico ou animal, contribuindo para a manutenção de um ambiente economicamente sustentável.

2.6 Aspectos da bioenergia

A bioenergia refere-se à energia obtida a partir da biomassa, que é a fração biodegradável de produtos e resíduos da agricultura (de origem vegetal e animal), da silvicultura e das indústrias conexas, bem como a fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos (FAO, 2008). Uma grande variedade de fontes de biomassa podem ser utilizadas para produzir bioenergia de várias formas. Resíduos oriundos de processos alimentares, fibras e madeira, do setor industrial, culturas energéticas, resíduos agrícolas e florestais podem ser usados para gerar eletricidade, calor, calor e energia combinados e outras formas de bioenergia (GBEP, 2007).

A produção e o comércio de bioenergia aumentaram significativamente durante os últimos anos e está projetada para aumentar ainda mais durante as próximas décadas. De acordo com a Agência Internacional de Energia, a produção mundial de biocombustíveis vai subir de 0,8 EJ em 2005 para 2,3 EJ em 2015 e para 2030 está estimado em 3,9 EJ. (AIE, 2006). No entanto, surgiram preocupações sobre potenciais impactos negativos da produção de bioenergia, como impacto sobre a segurança alimentar nos países em desenvolvimento e o impacto sobre a biodiversidade.

Os negócios envolvendo o comércio de bioenergia tem se expandido rapidamente nos últimos anos. Resíduos florestais e agrícolas, madeira, aglomerados e briquetes, biocombustíveis líquido, (óleos vegetais, bio-etanol, biodiesel) estão cada vez mais sendo comercializados para aplicações na produção de energia elétrica, aquecimento residencial e combustível para meios de transporte. A força motriz por trás da expansão da bioenergia é uma fonte renovável e acessível que contribua para a mitigação das mudanças climáticas, para a segurança energética e o desenvolvimento rural (Junginger et al. 2008; Erb et al. 2012).

Sistemas de produção de bioenergia em grande escala, são avaliados de acordo com critérios de sustentabilidade que levam em consideração os impactos sociais, ambientais e econômicos. Iniciativas nacionais e supranacionais estão sendo desenvolvidas e implementadas para incentivar a produção de bioenergia e ao mesmo tempo certificar os projetos em termos de sustentabilidade. (Dam et al. 2008).

O governo brasileiro tem promovido a expansão da bioenergia, com foco no etanol e biodiesel, por meio de programas e leis: Programa Nacional do Alcool (PROÁLCOOL, Decreto nº 76.593/75), a Lei da Inovação (Lei 10.973/04), a Lei do Biodiesel (Lei 11.097/05), o Plano Nacional de Agroenergia (PNA 2006-2011), Programa de Agricultura de Baixo Carbono (Programa ABC), Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA, Decreto 5.025/2004) e o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), para estimular a participação dos biocombustíveis na matriz energética nacional (Durães, 2008). O Brasil tem condições para liderar a produção mundial de bioenergia, devido à extensão de terras propícias a agricultura e condições geoclimáticas, isso porque, parte destes recursos não é explorada ou é subaproveitada (Goes et al. 2010; Martha JR, 2008).

3. CONCLUSÕES

Neste capítulo foi feito uma breve revisão bibliográfica sobre energias alternativas, como foco na biomassa e o no biogás. Com a necessidade de renovar a matriz energética no país, o governo federal vêm implantando cada vez mais programas de incentivo a produção de energias renováveis, visando a sustentabilidade ambiental na produção energética do país.

Capítulo II – Análise financeira da microgeração de energia elétrica via biogás da suinocultura

RESUMO

Uma das maiores fontes de energia disponíveis nas áreas rurais e agroindustriais é a biomassa. A mesma aparece na forma de resíduos vegetais e animais, tais como restos de colheita, esterco animal, plantas energéticas e efluentes agroindustriais. Estes resíduos podem ser utilizados pelo produtor rural ou agroindústria para a queima direta, visando a produção de calor ou na produção de biogás em biodigestores. A produção de suínos gera grande quantidade de dejetos causando problemas ao meio ambiente quando não tratado. O mesmo possui grande quantidade de metano que quando lançado na atmosfera, contribui expressivamente para o efeito estufa. Programas de incentivo ao produtor vêm sendo criados no sentido de preservar o meio ambiente minimizando o efeito dos gases na natureza. Neste contexto, criou-se com base no Protocolo de Quioto, o Programa de Incentivo às fontes Alternativas de Energia (Proinfa) e o Programa (ABC) que visam incentivar investimentos dos agricultores, para que produzam alimentos com sustentabilidade. A co-geração de energia elétrica é uma das formas de aproveitamento do biogás gerado devido à produção de alimentos, principalmente produtos cárneos. Além da geração de energia há a possibilidade da venda de crédito de carbono, agregando maior renda ao produtor. O presente capítulo tem como objetivo determinar a viabilidade econômica da co-geração de energia elétrica com biogás proveniente de dejetos suínos, agregando valor com a venda de crédito de carbono. Constata-se no presente estudo de caso que o custo de produção de energia elétrica depende diretamente do investimento inicial e do tempo de geração de energia. Nas condições atuais de produção de biogás, o custo do MWh é de R\$ 289,94 e o valor do m³ de biogás é de R\$ 0,25. Com juros de 5,5% a.a. o produtor ficaria com prejuízo em torno de R\$ 224.739,21. Considerando a venda de créditos carbonos, ainda geraria prejuízos, porém menores na faixa de R\$ 18.519,21 e o custo da produção de energia por MWh é de R\$ 111,05.

Chapter II - Financial analysis of microgeneration of electricity via biogas from swine

Abstract

One of the biggest sources of energy available in rural and agribusiness is biomass. The same appears in the form of plant and animal residues such as crop residues, animal manure, energy crops and agro-industrial effluents. These residues can be used by farmers or agribusiness for direct burning in order to produce heat or biogas production in digesters. Swine production generates large amounts of waste causing environmental problems if left untreated. The same has lots of methane when released into the atmosphere, contributes significantly to the greenhouse effect. Incentive programs to producers have been created to preserve the environment by minimizing the effect of gases in nature. In this context, it was created based on the Kyoto Protocol, the Incentive Program for Alternative Sources of Energy (Proinfa) and Program (ABC) designed to encourage investment for farmers, who produce food sustainably. The co-generation of electricity is one way of using the biogas generated by the production of food, especially meat products. Besides power generation there is the possibility of selling carbon credit, adding more income to the producer. This chapter aims to determine the economic feasibility of co-generation of electricity with biogas from pig manure, adding value through the sale of carbon credit. It appears in this case study that the cost of electricity production depends directly on the initial investment of time and energy generation. Under current conditions of biogas production, the cost per MWh is U.S. \$ 289.94 and the value of m³ of biogas is R\$ 0.25. Interest of 5.5% pa the producer would be a loss of around R\$ 224,739.21. Considering the sale of carbon credits, still generate losses, but smaller in the range of. R\$ 18,519.21 and the cost of energy production per MWh is R\$ 111.05.

1. INTRODUÇÃO

Para as próximas décadas, há perspectivas de crise no setor energético. Tal crise se deve pelo descompasso entre o crescimento da demanda e a incapacidade da oferta acompanhar o ritmo de expansão do Produto Interno Bruto (PIB) mundial, em especial do petróleo que é base da matriz energética nacional. O resultado imediato e perceptível de tal crise é a volatilidade e recordes no preço do barril no petróleo. Países buscam aliviar as incertezas e de alguma forma impedir que suas economias caíssem diante da crise energética, estimulando o uso de fontes energética renováveis como biomassa, solar e eólica. (Castro, 2008).

Com o aumento dos valores das fontes convencionais de energia juntamente com a crescente preocupação do futuro da oferta de energia, a segurança energética ganhou posição importante nos meio políticos, ao redor do mundo, incluindo o Brasil. Reconhecido pelas fontes renováveis de energia, o país virou o centro das atenções de países desenvolvidos, além das hidrelétricas, o uso de fontes de energia limpa de biocombustíveis.

O aspecto financeiro é citado freqüentemente como a principal motivação para a adoção de novas fontes de energia. Isso porque, o custo com a exportação de petróleo por países que não possuem tal matéria prima tornam-se elevadas. A preocupação ambiental e social torna-se importante, visto que a globalização gerou efeitos devastadores, pois acelerou o crescimento econômico e em contrapartida gerou uma interdependência entre os mercados, e os frutos não são usufruídos por toda a população. A pobreza ainda persiste, e os desrespeitos com meio ambiente começam a trazer suas consequências, como a diminuição da biodiversidade e o aumento no aquecimento global.

O Oeste do Paraná é a maior região produtora de suínos do Estado, gerando um problema ambiental grave. Sem tratamento, os dejetos poluem rios, e disponibilizam gases que aumentam o efeito estufa. O biogás proveniente da suinocultura vem se tornando uma importante fonte de energia renovável. Além da produção de energia elétrica para suprir as necessidades dos produtores, contribui para a diminuição de danos ambientais. No entanto, há aspectos dessa produção que devem ser analisados

cuidadosamente como a questão financeira da implementação de projetos para produzir energia elétrica.

Para que a produção sustentável de alimentos torne-se algo corriqueiro entre os produtores é necessário o estudo das emissões de gases que causam o efeito estufa, as mudanças climáticas, e a instabilidade de preços das energias. A agricultura é uma das mais importantes atividades e embora produza alimentos pode se mal conduzida, poluir rios e nascentes, promover a retirada de florestas e contribuir com emissão de GEE (com a produção de animais) entre outros agravantes.

Com a expansão da produção de suínos no Brasil, expandiu-se também a quantidade de dejetos gerada, causando um problema ambiental sem tamanho. A produção de biogás torna-se uma alternativa para diminuir a emissão de GEE, tendo incentivo da rede privada e pública do país. Soluções estão sendo implantadas para diminuir a poluição do meio ambiente como as lagoas de estabilização e biodigestores. Elas conferem o tratamento dos dejetos, transformando-os em biogás e biofertilizante.

Este capítulo visa mostrar a viabilidade financeira da produção de energia elétrica proveniente do biogás da suinocultura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Resíduos rurais como fonte de energia

O Brasil é um país que apresenta tradição no uso de fontes renováveis de energia, onde se destaca o uso da energia hidrelétrica como responsável pela maior parcela (74%) de toda geração de eletricidade. Por outro lado, existem ainda estáticos, com pouco aproveitamento, um enorme potencial de fontes renováveis de energia, destacando-se entre elas a energia eólica (0,4%) e biomassa (4,7%) (BEN, 2011).

Segundo dados da ABIPECS (2012), a produção e o abate de suínos cresceu sumariamente entre os anos de 2006 a 2010. Em 2006 foram abatidos 23.134.111 de cabeças. E em 2010, 29.072.584 de cabeças tendo um aumento considerável de produção no período de cinco anos. A produção de dejetos teve aumento, tendo assim que aumentar os cuidados com o tratamento dos mesmos. Conforme dados disponibilizados pelo IBGE (2006), o Brasil é o quarto produtor mundial de suínos, contando com cerca de 43,2 milhões de cabeças, apresentando-se com grande potencial de resíduos.

Os resíduos rurais incluem todos os tipos gerados pelas atividades produtivas nas zonas rurais, quais sejam: os resíduos agrícolas, florestais e pecuários. Os resíduos da pecuária são constituídos por esterco e outros produtos resultantes da atividade biológica dos bovinos, suínos, caprinos e outros, cuja relevância local justifica seu aproveitamento energético. A produção de biogás a partir de dejetos contribui para a proteção do meio ambiente, reduzindo as emissões de CO₂ através da substituição de combustíveis fósseis e reduzindo a emissão de metano (CH₄) (Moller et al. 2007).

Além do biogás produzido, a digestão anaerobia transforma a matéria-prima adicionada ao biodigestor em fertilizantes para a produção agrícola. O processo de degradação aumenta a disponibilidade de nitrogênio à planta aumentando assim a eficiência de fertilização da matéria-prima (Borjesson e Berglund, 2003, 2005).

No meio rural, as fontes renováveis alternativas de energia podem ser utilizadas em comunidades rurais isoladas, com o objetivo de melhorar as condições de vida dessas populações. A implantação depende da disponibilidade dos recursos energéticos existentes em cada região. Em locais onde há disponibilidade de resíduos animais, os quais não podem ser dispostos diretamente na natureza antes de passarem por um processo de tratamento, ocorre a disponibilidade de biogás. O biogás é

subproduto da digestão anaeróbia dos resíduos animais e pode ser utilizado como biocombustível no aquecimento de ambientes, cocção de alimentos e em grupos motor gerador para geração de eletricidade.

2.2 Fontes de energia renovável

A substituição de combustíveis fósseis, a introdução de medidas que aumentem a eficiência do uso e da conversão da energia e investimentos pesados no desenvolvimento de fontes renováveis de energia (energia solar e eólica e outras) e na produção de combustíveis “limpos” (derivados de biomassa e hidrogênio) foram soluções encontradas pelos países pertencentes à AIE em várias discussões internacionais (Rio-92, Kyoto-97 e Bonn-2001) para possibilitar a redução de emissões de GEE sem reduzir a qualidade de vida proporcionada pela utilização das fontes não renováveis de energia (Silva et al. 2003).

A geração de energia usando os dejetos da suinocultura ainda é remota no Brasil, mesmo sendo uma forma de diminuir a poluição e a degradação ambiental ao redor de granjas. Porém o atual sistema é bastante favorável ao desenvolvimento, em função do ciclo de alta de preços do petróleo, combustíveis fósseis e gás natural – fazendo com que essa modalidade de geração torne-se viável, isso sem contar a crescente pressão para diminuição da degradação ambiental associada à produção de alimentos (Lemos et al. 2008). Com a perspectiva de venda de crédito de carbono, houve a partir de 2005 um crescente interesse e demanda por biodigestores pelos produtores de suínos (MCTI, 2007). Isso acarretou um incremento na disponibilidade de biogás e ao surgimento de geração de energia elétrica, tanto para consumo próprio, quanto para venda de energia a concessionárias. (Martins e Oliveira, 2011).

A biomassa foi a principal fonte energética até o início do século 20, quando, então, veio a chamada “era do petróleo” e a biomassa energética foi relegada e largamente ignorada. Como biomassa designa-se, em geral, a massa total de matéria orgânica que se acumula num espaço vital. O uso de biomassa para a geração de eletricidade tem sido objeto de vários estudos e aplicações, tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento. Entre outras razões estão a busca por fontes mais competitivas de geração de energia e a necessidade de redução das emissões de dióxido de carbono (Silva et al. 2005).

Resíduos de biomassa são considerados fonte de energia disponível embora possa causar grave degradação ambiental. A recuperação do biogás através da digestão anaeróbia é visto como forma ideal de tratamento de resíduos da biomassa. Diferentes tipos de resíduos têm potencial de produção de biogás tais como: dejetos de bovinos, de suínos, lodo de esgoto, resíduos de frutas e vegetais entre outros. (Qiao et al. 2011).

O biogás produzido através de digestão anaeróbia é composto basicamente de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e sulfeto de hidrogênio (H_2S). A digestão anaeróbia é um processo natural onde bactérias anaeróbias atacam as estruturas da matéria orgânica para produzir compostos simples como metano, dióxido de carbono, água formando assim o biogás. O biogás contém aproximadamente de 36 a 50% de metano (CH_4) e de 15 a 60% de dióxido de carbono (CO_2) (Kao et al. 2012; Starr et al. 2012; Richebosh et al. 2011).

O biogás é um subproduto gerado pelo processo de tratamento do resíduo da suinocultura, o qual quando aproveitado permite ao produtor rural tornar-se auto-suficiente em energia elétrica e pagar o capital investido num sistema de tratamento de resíduos. Segundo Souza et al. (2004) uma outra vantagem, no aproveitamento do biogás, é o fato do metano ser um gás que contribui para o efeito estufa mais intensamente que o dióxido de carbono e sua queima durante o processo de geração de energia contribui para a redução de seu efeito como tal.

A construção e operação de usinas que produzem energia a partir de fontes renováveis é assunto de discussão em todos os países que aceitaram o conceito de desenvolvimento sustentável e os países que assinaram o Protocolo de Kyoto direcionado a sustentabilidade. A ampliação da produção de energia renovável é claramente um imperativo, porém sua construção só é economicamente viável se a operação resultar em longo prazo na sustentabilidade. (Gulosin et al. 2012).

Conforme Mohseni et al. (2012), a energia renovável (principalmente eólica e solar) ganhou pesada atenção nos últimos anos e terá um papel importante entre as futuras fontes de energia primária. Segundo dados da MME (2007) a oferta de energia elétrica a partir de fontes renováveis tendem a aumentar significativamente. Projeções para os próximos anos mostram que a energia proveniente da cana-de-açúcar aumentará em 2030 em relação ao ano de 2010, quando a produção chegara a 103.026 Mtep.

A utilização do gás da biomassa para geração de energia elétrica visa à redução dos custos de produção com energia, diminuição da emissão dos GEE e aumento da oferta de energia elétrica no Brasil (MME, 2007). Lindemeyer (2008) diz que um

aspecto positivo da geração de energia a partir do biogás é que essa tem grande potencial para impulsionar a economia local, fomentando setores importantes como indústria, comércio e de serviços.

A Figura 1 resume as possibilidades de uso do biogás como fonte de energia alternativa.

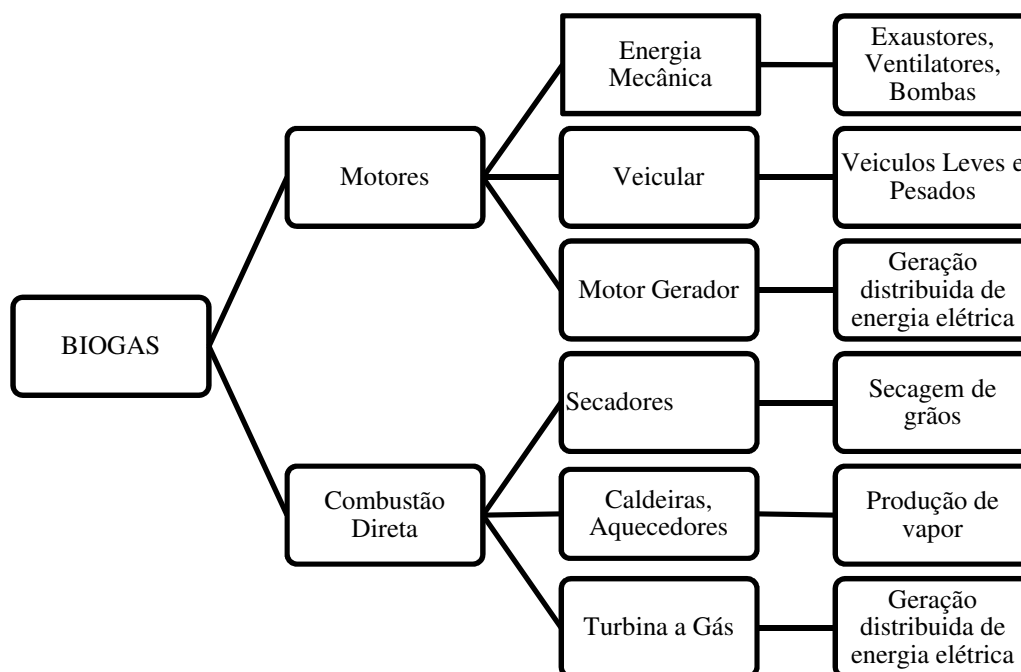


Figura 1 - Fluxograma do uso do biogás. Fonte: Walsh et al. (1988) e Centro de Conservação de Energia (CCE) (2000).

2.3 Legislação e programas de incentivo à produção de energia elétrica

A geração distribuída de energia no Brasil conforme ANEEL (2002) tem como finalidades:

Assegurar a expansão da oferta e qualidade do fornecimento sem aumento de preços, com base na competição e estimular à eficiência econômica dos agentes;

Desobrigar o contribuinte de investimentos futuros, interromperem geração de passivos e recuperar recursos com privatizações;

Atender o cidadão permitindo ao Governo ser mais eficiente e focado no Campo Social: Saúde, Educação e Segurança.

A geração distribuída ainda é pouca explorada, porém tem grande potencial para diversificar a matriz energética, reduzindo impactos ambientais e elevando o desenvolvimento da indústria com geração de emprego e renda (ANEEL, 2002).

Foram definidas de forma oficial através do Decreto nº 5.163 de 30 de julho de 2004, definida da seguinte forma:

Art.14. Para fins deste Decreto, considera-se geração distribuída à produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados (...), conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto a aquela proveniente de empreendimento:

I hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; e

II termelétrico, inclusive cogeração, com eficiência energética inferior a setenta por cento, (...).

Parágrafo Único. Os empreendimentos termelétricos que utilizem biomassa ou resíduos de processo como combustível não estarão limitados ao percentual de eficiência energética prevista no inciso II deste caput.

A definição de geração distribuída pela PRODIST (Procedimentos de Distribuição) é a geração de energia elétrica, de qualquer potência, conectadas diretamente no sistema elétrico de distribuição ou através de instalações de consumidores, podendo operar em paralelo ou de forma isolada. (ANEEL, 2005).

Como referência neste trabalho considera-se a geração distribuída como sendo qualquer fonte geradora com produção destinada, em sua maior parte, a cargas locais, alimentadas sem necessidade de transporte da energia através da rede de transmissão e tenha capacidade de mobilidade no que diz respeito a sua localização física (INEE,2002).

As tecnologias relacionadas à geração distribuída estão relacionadas com sistemas de cogeração de energia renovável, tais como, geração eólica, sistemas fotovoltaicos, pequenas centrais hidrelétricas e uso de biomassa para produção de eletricidade. Geralmente as localizações dessas fontes estão próximas de centros consumidores havendo redução de custos de transmissão e distribuição da energia (Januzzi, 2000).

Houve a elaboração pelo Ministério de Minas e Energia e pela Câmara de Gestão de Crise de Energia Elétrica – GCE um programa de incentivo específico, com o objetivo de agregar ao sistema elétrico nacional, 2.000 MW de geração a partir da biomassa. Há também programas específicos de financiamento com taxas de juros reduzidas e prazos de carência compatível com o empreendimento (ANEEL, 2008).

Estudos do Atlas da Energia Elétrica do Brasil (ANEEL, 2008), demonstram os valores de produção de energia de diversas fontes, renováveis e não renováveis. O valor

da produção de energia elétrica proveniente da biomassa é a que tem menor custo ficando na casa de R\$101,75 MWh⁻¹.

Os valores pagos no 2º leilão de Fontes Renováveis incluindo energia eólica, PCHs e biomassa são R\$130,86, R\$141,93 e R\$144,20 respectivamente. (CCEE, 2010). O intuito desses leilões é o incentivo à produção de energia renovável proporcionando maior lucratividade para o produtor.

A redução de emissões de gases de efeito estufa surge com o Protocolo de Quioto assinado em 1997 na cidade de Quioto (Japão) que instituiu a redução das taxas de GEE na atmosfera. Para que o Protocolo efetivamente acontecesse era necessária a ratificação de pelo menos 55 países, que juntos deveriam responder por 55% das emissões globais de GEE. Tendo em vista as diferenças econômicas, sociais e de desenvolvimento, os países foram divididos em dois grupos:

Anexo I: São considerados os países desenvolvidos, industrializados e alguns países com economia de transição incluindo a Rússia e o leste europeu, considerados os maiores emissores de GEE;

Não Anexo I: Composto por países em desenvolvimento inclusos Brasil, Argentina, México e Índia.

Os países incluídos no Anexo I deveriam reduzir até o ano de 2012, no mínimo 5,2% suas emissões combinadas de GEE em relação aos níveis de 1990. Japão e União Europeia assumiram compromissos maiores, 6% e 8% respectivamente. Para os países atingirem suas metas de redução, o Protocolo estipulou três mecanismos de flexibilização, os dois primeiros válidos apenas para países do Anexo I:

Implementação Conjunta: consiste que países do Anexo I podem agir em conjunto para atingir suas metas. Ou seja, se um país não conseguir a redução das emissões o suficiente, ele pode firmar acordo com outros países do Anexo I para se ajudarem;

Comércio de Emissões: que ocorre entre os países do Anexo I, em que empresas dos países que tiverem emissões inferiores a seu teto no período entre 2008 e 2012 teriam RCEs que poderiam ser vendidos a empresas de países que tivessem emissões superiores ao seu teto;

Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL: permite atividades entre os países do Anexo I e do Anexo II, objetivando o apoio ao desenvolvimento sustentável (Viola, 2009).

Segundo Key e Stacy (2011) um mercado de compensação para produtores de suínos faz com que sejam reduzidas as emissões de gases que causam o efeito estufa, tendo como base o pagamento de crédito carbono. Os fatores que influenciam a produção de biogás usando biodigestores e que determinam as características e localização das atividades suinícolas, podem facilitar a introdução de um mercado de compensação de carbono. Incluem o tamanho de operação, o preço de venda da eletricidade excedente, incentivo econômico, o nível de emissão de metano e o preço da tonelada do carbono.

O Brasil possui uma legislação ambiental avançada, cuja aplicação em termos de instrumentos regulatórios, privilegia medidas tipo “comando e controle”, tais como licenças ambientais, limites para a emissão de poluentes e zonas onde certas atividades são proibidas ou restritas devido a potenciais danos ambientais.

O PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia), criado com base na lei nº 10.438/02 (MME, 2005), tem como objetivo o aumento da participação da energia elétrica agregando ao sistema elétrico 3.300 MW de potência instalada, produzido por Produtores Independentes Autônomos a partir de fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas (PCH's) e biomassa no sistema interligado nacional. Abre-se uma oportunidade para que sistemas de geração de energia elétrica, utilizando biogás como fonte primária de energia, venham a ser implantados, promovendo, com isso, uma participação dessa fonte renovável como alternativa de geração de energia na matriz energética nacional.

Os mecanismos de incentivo do PROINFA são a garantia de compra, por um prazo de até 15 anos, da energia e o estabelecimento de um valor de referência compatível com as características técnicas e econômicas do empreendimento (ANEEL, 2008).

Em 2010 foi criado o Programa de Agricultura de Baixo Carbono (Programa ABC) que dá recursos e incentivos para produtores produzirem alimentos de forma sustentável, contribuindo para a redução de emissão de gases do efeito estufa (CO₂, CH₄, e óxido nitroso). A ideia central do Programa é que o produtor aumente a renda, aumente a produção e aumente a proteção ao meio ambiente. A previsão é que para a safra 2011/2012 o programa ABC disponibilize aproximadamente R\$3 bilhões para incentivar processos tecnológicos que minimizem ou neutralizem a emissão de GEE no campo. (Brasil, 2012).

O Programa de Geração Distribuída com Saneamento Ambiental implantado pela Copel (2009), no estado do Paraná tem como finalidade incentivar a instalação de equipamentos que produzam energia elétrica tanto para consumo próprio como para venda do excedente, bem como a minimização dos efeitos causados por dejetos animais e rejeitos agroindustriais ao meio ambiente. O Programa incentiva de forma sustentável a eliminação das causas da poluição decorrente do lançamento de dejetos animais nos rios e reservatórios. No estado do Paraná, estão em andamento 6 projetos pilotos de geração distribuídas incluindo produtores rurais e agroindústrias. Os projetos pilotos totalizam 524 kW, suficiente para atender a 130 domicílios.

2.4 Cenário financeiro da produção de energia elétrica

Estudos sobre a geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por dejetos de suínos são recentes (Oliveira e Higarashi, 2006; Zago, 2003), e a inclusão da análise econômica é ainda pouco explorada. Singh e Sooch (2004) estudando o custo de instalação de plantas de biogás com esterco bovino constataram que conforme há aumento da planta de biogás, o custo de instalação e o custo operacional aumentam proporcionalmente independente do tipo de biodigestor instalado.

Com a perspectiva de comercialização de créditos de carbono, houve, a partir de 2005, um crescente interesse e aumento na adoção de biodigestores pelos produtores de suínos (MCTI, 2007). Os resíduos, provenientes da criação animal tal como avicultura e suinocultura, por exemplo, têm um alto potencial para poluição. Tradicionalmente, esses têm sido lançados diretamente ao solo como fertilizantes, mas, em algumas situações, esses métodos podem causar problemas ambientais, como odor desagradável e contaminação da água. Duas opções para aproveitamento energético foram estudadas para esses tipos de resíduos na Europa: uma é a digestão anaeróbia dos resíduos de suinocultura, e o outro é a combustão direta, aproveitando-se a cama de aviário. (Souza et al. 2004).

A queima de 1 tonelada de metano equivale a eliminar 21 toneladas de carbono (IPCC, 2007). Para Lazzarus et al. (2011) a destruição do metano pode fornecer uma fonte de renda, isso porque a queima do metano fornece créditos para serem comercializados. Tais créditos, geralmente medidos em termos de CO₂, torna-se uma fonte de receita complementar. Segundo Liebrand e Ling (2008), créditos negociados

em Chicago Climate Exchange (CCX) variou em relação a 2008 de US\$1,90 por tonelada para US\$7,40 com um preço médio de US\$4,98 a tonelada de carbono. Dados atualizados pelo ICB (2012) mostra que no final de fevereiro de 2012 o valor pago por tonelada com entrega em 2013 chega a US\$14,50.

2.5 Biodigestores

Conforme Fernandes (2012) os biodigestores destinam-se a conter a biomassa residual que entra em contato com micro-organismos, com ausência de oxigênio, onde há a produção e o armazenamento preliminar dos compostos gasosos ou subprodutos do processo como o biogás e biofertilizante.

A mudança de compostos orgânicos em compostos mais simples ocorre em etapas dentro do biodigestor: primeiro ocorre a quebra de moléculas orgânicas complexas em simples e solúveis através da hidrólise, em seguida ocorre a acidogênese que transforma as moléculas de glicose, aminoácidos e ácidos graxos em ácidos orgânicos alcoóis e cetonas que se transformarão em acetato, dióxido de carbono e hidrogênio. Na última fase ocorre a metanogênese produzindo metano (Marques, 2012).

Os biodigestores tem recebido maior atenção pelo fato de ter a capacidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa a partir do tratamento dos dejetos. Lagoas de sedimentação e outros sistemas de tratamento de dejetos emitem maiores quantidades de metano.

No Brasil o tipo de biodigestor mais utilizado é o biodigestor canadense. Segundo Deublein e Steinhauser (2008) é um modelo tipo horizontal, apresentando uma caixa de carga em alvenaria e com a largura maior que a profundidade, possuindo, portanto, uma área maior de exposição ao sol, o que possibilita grande produção de biogás, evitando o entupimento. Durante a produção de biogás, a cúpula do biodigestor infla porque é feita de material plástico maleável (PVC), podendo ser retirada.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterizações da área de Estudo

A Unidade da Granja Colombari localiza-se na Linha Marfim, no Município de São Miguel do Iguaçu, latitude 25°20'53 Sul e longitude 54°14'16 Oeste, no oeste do estado do Paraná. Possui uma área total de 250 hectares, sendo 200 hectares para produção agrícola e 50 hectares destinados a suinocultura, Área de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal. Desde 1997, dedica-se a criação de suínos em fase de terminação, apresentando no decorrer dos anos aumento expressivo na produção de suínos.

A Granja Colombari trabalha com sistema de criação confinada. A geração de biomassa está diretamente ligada aos fatores de manejo, sistema de abastecimento de água, climatização e sistemas de limpeza. A propriedade possui dois biodigestores.



Figura 2 - Biodigestores da Granja Colombari (FONTE: Marques, 2012)

O primeiro com dimensões de 25m x 10m x 3,7m com capacidade de 29,2 m³ d-1, com tempo de retenção hidráulica de 30 dias. Em seguida os dejetos vão para o segundo biodigestor com capacidade 7,3 m³ d-1, projetado para um tempo de retenção hidráulica de 20 dias. Os biodigestores possuem uma válvula de alívio da pressão interna: uma caixa da água, com uma tubulação saindo do biodigestor, inserida 15 mm de profundidade na água, para que em pressões superiores a 15 mm de coluna d'água o biogás seja liberado do biodigestor. Na tubulação de saída, o efluente é direcionado a

uma esterqueira que armazena o biofertilizante, o qual é usado posteriormente na lavoura.

A geração de energia elétrica fica por conta do grupo motor-gerador, sistema de proteção e controle e quadro de comando, sendo interligado na rede de distribuição, para a comercialização do excedente. O motor-gerador fica abrigado em uma casa de alvenaria, com piso de concreto armado desempenado sem dilatação, com aberturas de entrada de ar para ventilação interna. Os dados técnicos do motor e do gerador estão dispostos na Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1 - Motor a Biogás MWM 6.12T - Ciclo Diesel convertido em Ciclo Otto

Cilindrada	7.2 L
Ignição	Eletronica (Pandoo)
Rotação	1800 RPM
Consumo de biogás	50 m ³ h ⁻¹

Tabela 2 - Gerador: Gramaco / G2R 200MB 4

Número	17882
Número de polos	4
Rotação nominal	1800 RPM
Potência	104 kVA contínuo
Frequência	60 Hz
Tensão	127 V
Corrente	270 A
Cos φ	0.8 a 1.0
Classe de isolamento	H
Fabricação	2010

A figura 3 mostra o motor acoplado ao gerador de 100 KVA.



Figura 3 – Motor acoplado ao gerador (Cleber, 2012)

Na análise financeira variou-se o tempo de geração de energia elétrica e consequentemente o número de suínos, o investimento inicial, incluindo a venda ou não de créditos carbono. O custo de instalação do biodigestor e do motor-gerador foram levantados junto a empresas do segmento.

3.2 Equações para determinação de parâmetros financeiros e do custo de produção da energia elétrica.

Foram estudados três cenários.

Cenário 1 – Situação atual da Granja Colombari. A média de produção de biogás é de $554 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$, para uma média de 4673 suínos alojados a uma temperatura média de $22,11^\circ\text{C}$. Os dados do motor-gerador fornecido pelo fabricante são: potencia – 76 kW e consumo de $50 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ de biogás. Os dados coletados do funcionamento do motor-gerador são potencia media de 66,22 kW e consumo específico $45,55 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ de biogás. Para fins de cálculo serão usados dados reais de funcionamento. A geração de energia funciona durante 10 h diárias. Considera-se o custo do biodigestor de R\$ 294.600,00 e do motor gerador de R\$ 113.550,00.

Cenário 2 – Simulando que a geração de energia funcione durante 16 h diárias. Para isso a produção de biogás será de $729 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ e simultaneamente a produção de suínos irá alcançar 6073 cabeças. A potência e o consumo do motor serão considerados os mesmos nos três cenários. O custo do biodigestor será de R\$ 352.800,00. O custo do motor gerador para termos de calculo será de R\$ 113.550,00.

Cenário 3 – Simulando a 20 h diárias de geração de energia, sendo $911 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ de biogás e uma produção de suínos de 7000 animais. Considera-se o custo do biodigestor de R\$ 441.000,00 e motor gerador de R\$ 113.550,00.

Os valores comerciais do biodigestor (incluindo escavação, instalação completa) foram fornecidos pela empresa Sansuy – Soluções em PVC. Os valores do motor-gerador foram fornecidos pela empresa ER-BR Energias Renováveis.

Nos três cenários serão feitos cálculos do custo da produção de energia elétrica. Os parâmetros de avaliação econômica de projetos estão definidos a seguir.

Valor Presente Liquido (VPL) - faz uma comparação do investimento realizado com o valor presente nos fluxos de caixa gerados pelo projeto. Considera todos os fluxos de caixa, e não apenas o instante no tempo em que o saldo acumulado se torna

positivo. Pode nos dar uma medida de riqueza adicionada ($VPL > 0$) ou destruída ($VPL < 0$). A taxa de juros a ser utilizada para definição dos parâmetros será de 5,5% a.a conforme imposto pelo Programa ABC. VPL é dado por Bordeaux-Rêgo et al.(2010):

$$VPL = -I + \left(\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \right) + \frac{VR}{(1+i)^n} \quad (2)$$

Onde:

I - Investimento inicial;

FCt - Fluxo de caixa líquido na data t;

i - taxa de juros;

VR - Valor residual do projeto ao final do período de análise;

n – tempo de amortização do investimento.

As equações usadas para a análise financeira foram adaptadas de Souza et al. (2004).

Taxa Interna de Retorno (TIR) - É uma referência a ser utilizada para definir a aceitação ou não de um projeto. A taxa interna de retorno torna o VPL nulo.

Tempo de retorno de investimento (TRI) - para o calculo de TRI, o valor pago ao produtor pelo MWh produzido foi simulado em R\$120,00 – R\$ 140,00 – R\$ 160,00 – R\$ 180,00 – R\$ 200,00 – R\$ 220,00, isso porque conforme ANEEL (2010) o valor pago pela energia provinda da biomassa é de R\$144,20 MWh⁻¹. Para análise de viabilidade o valor considerado será de R\$ 140,00 MWh⁻¹.

$$TRI = \frac{\ln\left(\frac{k}{k \times (1+i)^{-1} - i}\right)}{\ln(1+i)} \quad (3)$$

Onde:

$$k = \frac{A}{CI} - \frac{OM}{100}$$

CI – Custo de investimento no sistema biodigestor/motor-gerador (R\$), A - Gasto anual com energia elétrica adquirida na rede (R\$ ano⁻¹), OM - Gastos com amortização e manutenção da planta (R\$ ano⁻¹), TRI - Tempo de retorno (anos).

Custo da energia elétrica:

$$C_e = \frac{CAG + CAB_i}{PE} \quad (4)$$

em que

C_e - Custo de energia elétrica produzida via biogás (R\$ kWh⁻¹), CAB_i – Gasto anual com biogás (R\$ ano⁻¹) e PE - Produção de eletricidade pela planta de biogás (kWh ano⁻¹), CAG - Custo anualizado do investimento no conjunto motor gerador (R\$ ano⁻¹).

Onde:

$$CAG = CIG \times FRC + \frac{CIG \times OM}{100} \quad (5)$$

$$CAB = CB \times CNB \quad (6)$$

em que:

CIG - Custo do investimento no motor gerador (R\$), OM - Custo com organização e manutenção (%/ano), CB - Custo do biogás (R\$ m⁻³) e CNB - Consumo de biogás pelo conjunto motor gerador (m³ ano⁻¹).

A produção de eletricidade (PE) é dada por:

$$PE = Pot \times T \quad (7)$$

Pot - Potência nominal da planta (kW), T - Disponibilidade anual da planta (h ano⁻¹). O fator de recuperação de capital é dado por

$$FRC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^{n+1} - 1} \quad (8)$$

FRC - Fator de recuperação de Capital, i - taxa de desconto (% ano) e n - anos para amortização do investimento.

O custo do biogás é dado por

$$CB = \frac{CAB}{PAB} \quad (9)$$

CAB - Custo Anualizado do investimento no biodigestor (R\$ ano⁻¹) e PAB - Produção anual de biogás (m³ ano⁻¹).

$$CAB = CIB \times FRC + \frac{CIB}{100} - CC \quad (10)$$

CIB – Custo de investimento no biodigestor (R\$) e PAB – Produção anual de biogás (m³) - GCC – Ganho com credito carbono (R\$ ano⁻¹)

Para conversão da quantidade de metano em credito carbono, foi usada a equação (11).

Conversão de biogás em toneladas de CO₂ e convertido em R\$ t⁻¹.

Para tal conversão foi usado os seguintes parâmetros:

- ✓ Produção de biogás em m³ ano⁻¹ (Pr)
- ✓ Densidade do metano: 0,67 kg na temperatura de 20°C e a 1 atm de pressão (Angonese et al. (2007); Honório (2009); Pukaszewicz (2010))
- ✓ Porcentagem de metano no biogás: 60%; (%CH₄)
- ✓ Valor por tonelada de CO₂: R\$25,37
- ✓ Equivalência entre CH₄ e CO₂ – 1 unidade de CH₄ equivale a 21 unidade de CO₂.(Un)
- ✓

$$t\ CO_2 = (Pr \times Ds \times Pc \times Un) / 1000 \quad (11)$$

$$valor\ da\ t = t\ CO_2 \times R\$ \quad (12)$$

2.6 Índice de lucratividade

O índice de lucratividade é uma medida relativa entre o valor presente dos fluxos de caixas recebidos e o investimento inicial segundo Bordeaux- Rego (2010), dada pela equação (13).

$$IL = \frac{VPL+I}{I} \quad (13)$$

Onde,

IL – Índice de Lucratividade; VPL – Valor Presente Liquido; I – Investimento Inicial.

Quando IL é maior de um (1), significa que o investimento será recuperado, remunerado ao menos à taxa exigida e haverá ainda aumento de riqueza.

Quando IL é igual a um (1), o investimento será recuperado, remunerado exatamente à taxa exigida.

Quando IL for menor de um (1), o investimento não será recuperado, acarretando prejuízos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Cenário 1

A Figura 4 representa a variação do tempo de retorno do investimento, em função das horas de produção de energia e do valor pago pelo MWh. Com produção de 10 h d⁻¹ sem a venda de crédito carbono, o tempo de retorno do investimento gira em torno de 35 anos. Com a receita da venda de crédito carbono o TRI cai para 8,5 anos, considerando o valor de venda de R\$140,00 MWh⁻¹.

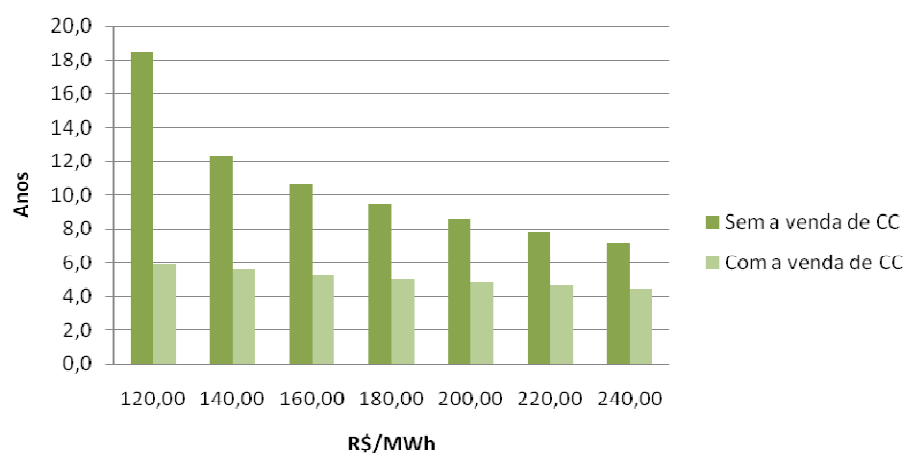


Figura 4 - Tempo de Retorno de Investimento (TRI) em função do valor da energia elétrica - 10h d⁻¹

A Tabela 3 mostra a variação do custo da energia elétrica de acordo com a venda ou não de crédito carbono. Produzindo energia durante 10h d⁻¹ sem a venda de crédito carbono, com o tempo de retorno do investimento estimado em 10, 15 ou 20 anos, o valor da produção de energia é R\$ 289,94, R\$ 219,58 e R\$ 185,80 por MWh respectivamente, valores superiores ao pago pela concessionária de energia que é R\$140,00 o MWh.

Tabela 3 - Custo da energia elétrica (R\$.MWh⁻¹) proveniente do biogás da suinocultura variando o tempo de produção em função do tempo de vida útil do biodigestor.

Vida útil do biodigestor (anos)	10h d ⁻¹	
	Sem venda de Credito Carbono	Com a venda de credito carbono
10	R\$ 289,94	R\$ 111,05
15	R\$ 219,58	R\$ 40,65
20	R\$ 185,81	R\$ 6,86

4.2 Cenário 2

Com a produção em 16 h d^{-1} , o TRI sem a venda de crédito carbono é de 18,5 anos. Com a venda de crédito carbono o tempo de retorno de investimento é de 6 anos. Conforme há aumento do valor pago pela produção excedente, o tempo de retorno de investimento diminui.

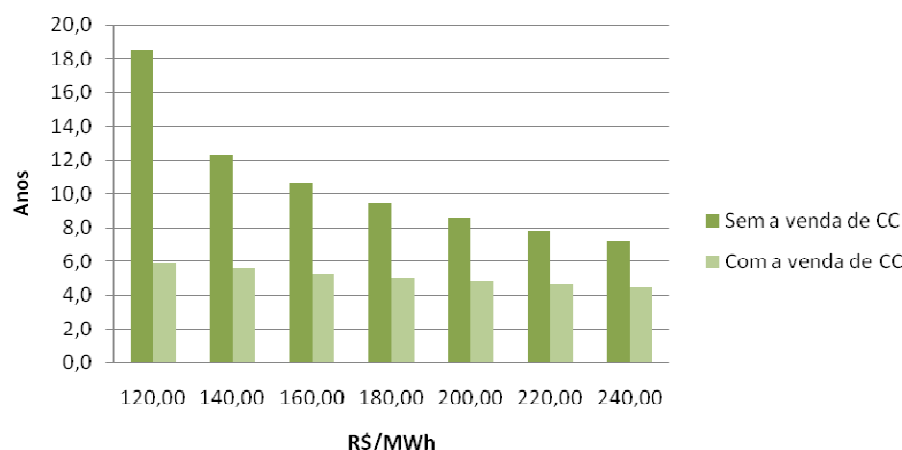


Figura 5- Tempo de Retorno de Investimento (TRI) em função do valor da energia elétrica - 16 h dia^{-1}

Oliveira & Martins (2007) estudaram a viabilidade econômica do uso de um gerador disponibilizando 40 kWh , utilizando biogás da suinocultura, e concluíram que esta alternativa é viável à medida que aumentam a demanda e o preço da energia. Com uma tarifa de $\text{R\$ } 200,00\text{ MWh}^{-1}$, o tempo de retorno do investimento, considerando desconto da taxa de juros de $5,5\%$ a.a (Programa ABC), foi de 39, 26 e 19 meses para tempos de geração diária de 10; 14 e 18 horas, respectivamente.

A Tabela 4 mostra que com 16 h d^{-1} , o valor fica competitivo a partir do tempo de retorno de 20 anos quando o valor da produção de energia chega a $\text{R\$ } 132,60\text{ MWh}^{-1}$. Considerando a venda de crédito carbono, com 10 anos torna-se viável quando o custo da produção de energia elétrica fica em torno de $\text{R\$ } 59,88$, gerando renda extra ao produtor com a venda do excedente de energia à concessionária.

Tabela 4 - Custo da energia elétrica ($\text{R\$}.\text{MWh}^{-1}$) proveniente do biogás da suinocultura variando o tempo de produção em função do tempo de vida útil do biodigestor

Vida útil do biodigestor (anos)	16 h.d ⁻¹	
	Sem venda de Credito Carbono	Com a venda de credito carbono
10	R\$ 207,10	R\$ 59,88
15	R\$ 156,70	R\$ 9,58
20	R\$ 132,60	R\$ -14,54

4.3 Cenário 3

Quando a produção de energia é de 20 h d⁻¹, o TRI sem a venda de crédito carbono é de 14,5 anos. Com a venda de crédito carbono é de aproximadamente 6 anos.

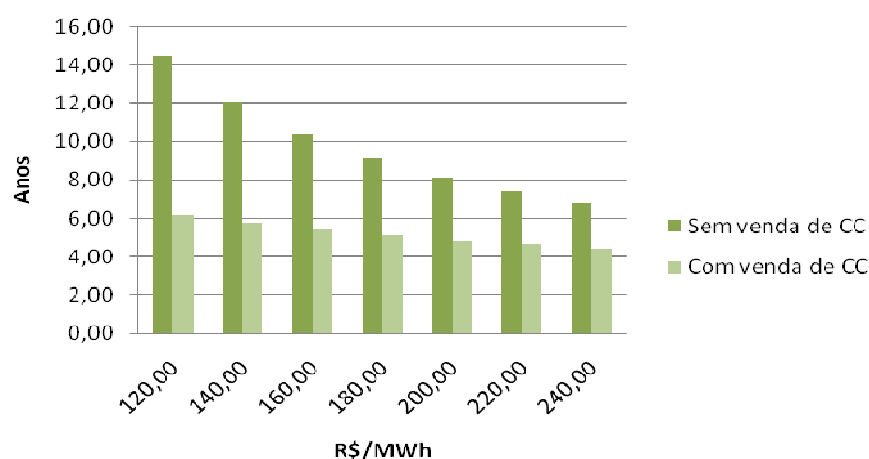


Figura 6 - Tempo de Retorno de investimento (TRI) em função do valor da energia elétrica- 20 h d⁻¹

Na Tabela 5 constam os custos de produção de energia elétrica operando 20 h d⁻¹, variando o tempo de retorno de investimento. Constata-se que, sem a venda de crédito carbono, o custo de produção de energia torna-se competitivo considerando o TRI de 20 anos. Já com a venda de crédito carbono, com TRI de 10 anos, o custo de produção é baixo (R\$ 49,80 MWh⁻¹). Com TRI de 20 anos, não há custo para produzir energia, ficando evidente pelo fato do custo de produção ser negativo.

Tabela 5 - Custo da energia elétrica (R\$.MWh⁻¹) proveniente do biogás da suinocultura com o tempo de produção em função do tempo de vida útil do biodegestor

Vida útil do biodigestor (anos)	20 h.dia ⁻¹	
	Sem venda de Credito Carbono	Com a venda de credito carbono
10	R\$ 197,02	R\$ 49,80
15	R\$ 149,10	R\$ 1,95
20	R\$ 126,23	R\$ -21,00

Segundo Zago (2003), o empreendimento passa ser viável economicamente quando a propriedade possui capacidade de produção de 200 m³.d⁻¹ de gás, o que gera uma produção aproximada de 300 kVAh.d⁻¹. Para Stegelin (2010), os benefícios de energia gerada pelo biogás consistem em economia no custo da energia elétrica comprada, economia com combustível quando o biogás é usado para esse fim;

economia com a compra de gás natural para aquecimento de água e outras instalações; evita-se o custo com fertilizantes comerciais usando o esterco bruto para fertilização, e mais a receita de crédito carbono nos mercados de gases de efeito estufa confirmando os resultados obtidos.

Yiridoe et al. (2009) e Bronw et al. (2007), estudando a viabilidade de produção de biogás para geração de energia elétrica, em laticínios, constatou que não era viável (US\$0,12.kWh⁻¹) a produção de eletricidade em laticínios de pequeno porte. Para pequenos produtores de suínos tornou-se inviável a produção de biogás, ficando no mesmo patamar de pequenos laticínios (US\$0,12.kWh). Gwavuya et al. (2012) estudando o uso do biogás em domicílios da Etiópia encontraram taxa de retorno próximo dos 10% com planta de biogás com capacidade de 6 m³, usando dejetos de animais.

Coldebella et al. (2006) analisando a produção de energia elétrica via biogás da bovinocultura, constatou que o custo de produção de energia elétrica está diretamente associado ao tempo de amortização do investimento e de operação do sistema. Com uma produção de 10 h dia⁻¹ num tempo de amortização de 10 anos o valor da produção (R\$183,69) de energia foi menor que os resultados obtidos.

Brasil (2012) relata que as fontes renováveis de energia elétrica tendem a aumentar significativamente em 5 anos, isso porque o custo de implantação de tais fontes estão diminuindo. No leilão realizado pelo governo federal para a compra de energia eólica, o megawatt-hora foi negociado a R\$ 180,00. No entanto a energia solar não está em um patamar competitivo, o preço do megawatt-hora gira entre R\$ 300,00 e R\$ 400,00. O custo elevado se deve ao alto investimento inicial para produção de energia solar.

Chynoweth, (2004); Walla & Schneeberger, (2009) ao analisar a viabilidade de usinas de biogás constatou-se uma mistura de variáveis relevantes: a eficiência econômica da digestão anaeróbia, entre outros como o custo de investimento, custo de exploração da unidade de biogás e a produção de metano, fatores relevantes que foram considerados no presente estudo.

Com a venda de crédito carbono o valor da produção de energia reduz drasticamente. Com tempo de retorno de 10, 15 e 20 anos, gerando 10, 16 e 20 h.d⁻¹, há uma redução de custos de aproximadamente 60%, com a venda de crédito carbono. Produzindo 10h, 16h e 20 h, ganha-se com crédito carbono R\$ 43.238,38 – R\$ 56.921,41 – R\$ 71.151,76 respectivamente.

A Tabela 6 mostra o custo de produção de energia considerando o investimento do biodigestor 30% do valor total, considerando apenas a instalação da vinimanta, sem a venda de crédito carbono. Em 15 anos e 10h d⁻¹, o custo da produção de energia elétrica (R\$ 108,64 MWh⁻¹) torna-se viável ao produtor. Nas outras condições expostas na Tabela 2, todas mostram viabilidade na produção de energia elétrica via biogás da suinocultura.

Tabela 6 - Custo da energia elétrica (R\$.MWh⁻¹) proveniente do biogás da suinocultura variando o tempo de produção em função do tempo de vida útil do biodigestor, com investimento de 30% do total do valor do biodigestor.

Vida útil do biodigestor (anos)	Tempo de produção de energia h.dia ⁻¹ sem venda de crédito carbono		
	10	16	20 h
10	R\$ 143,45	R\$ 97,43	R\$ 87,34
15	R\$ 108,64	R\$ 73,74	R\$ 66,13
20	R\$ 91,92	R\$ 62,42	R\$ 55,96

Com relação ao VPL, a Figura 7 mostra os valores em relação ao tempo de retorno do investimento e operação do motor gerador, sem a venda de crédito carbono.

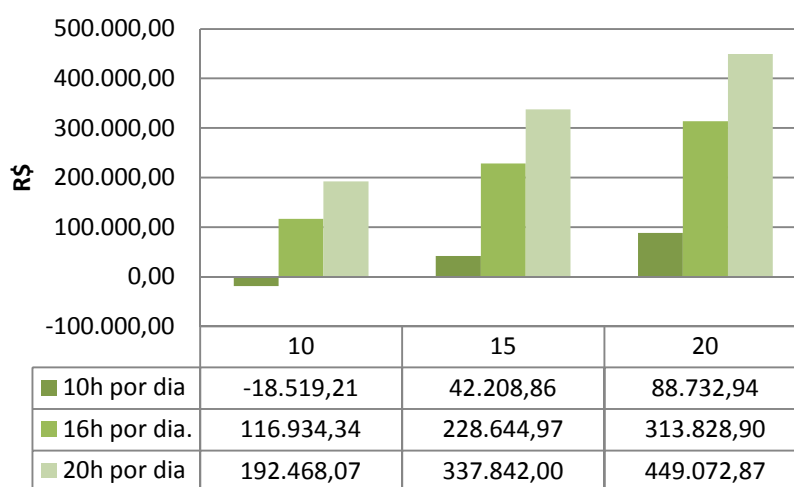


Figura 7-VPL em função do TRI e operação do motor-gerador considerando 30% do valor total do biodigestor

Na situação em que o VPL é negativo (10 anos / 10h d⁻¹), o implantação do sistema de geração de energia elétrica não é viável a 5,5% a.a., o que resultaria num prejuízo ao produtor de R\$ 18.519,21.

A Figura 8 mostra o VPL negativo em várias situações, considerando o valor total do investimento. O VPL se torna positivo a partir da situação de 15 anos de TRI operando 20h d⁻¹. No entanto o VPL volta a ser negativo quando opera em 10h d⁻¹ com 20 anos de TRI. A partir daí o VPL torna-se positivo novamente. Ou seja, na maior

parte das situações analisadas, o produtor terá prejuízo se produzir energia proveniente do biogás da suinocultura. Gwavuya (2012), analisando a coleta de esterco para produção de biogás e energia para residências constatou que no tempo de retorno de 20 anos o VPL foi positivo, considerando uma taxa de desconto de 4%.

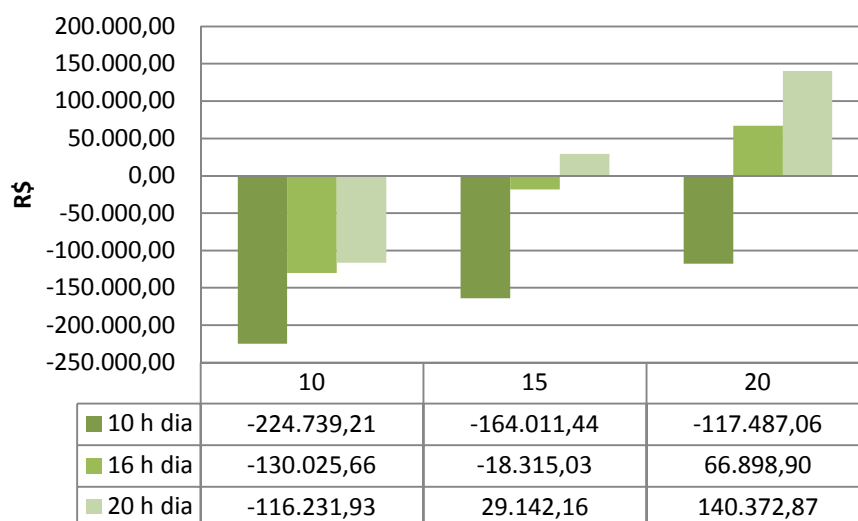


Figura 8 - VPL em função do TRI e operação do motor-gerador considerando o valor total do biodigestor sem a venda de crédito carbono.

A Figura 9 representa o VPL em função do tempo de retorno, considerando o valor total do investimento com a venda de crédito carbono.

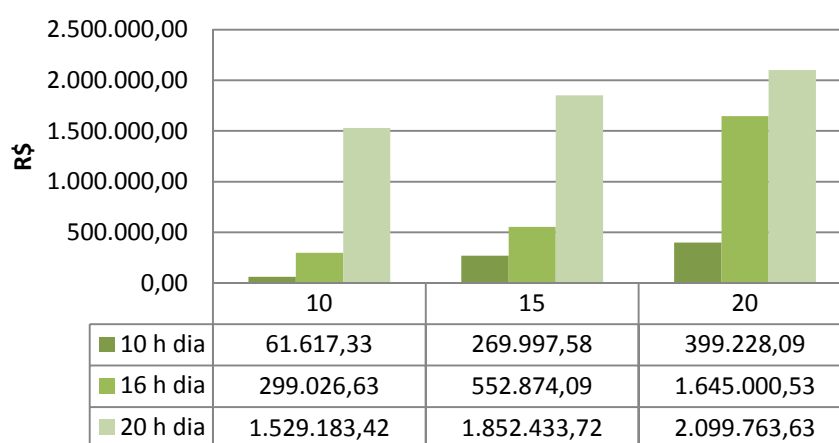


Figura 9 - VPL em função do TRI e operação do motor-gerador considerando o valor total do biodigestor com a venda de crédito carbono

Quando há renda com a venda de crédito carbono, todas as situações analisadas geram VPL positivo gerando lucro ao produtor. Isso acontece porque o mercado de carbono é uma área em expansão em todo o planeta, pelo fato de contribuir com o meio ambiente e ao mesmo tempo gerar renda a pequenos e grandes produtores de alimentos.

Ele não contempla apenas a criação de animais, mais todas as fontes de energia renovável de uma forma geral.

O custo de produção de biogás varia de acordo com a quantidade de biogás produzida e o valor inicial do investimento. O custo do biogás varia de R\$ 0,25 a R\$ 0,15.

Tabela 7- Custo da produção de biogás (R\$ m-3)

	10 anos	15 anos	20 anos
10 horas	R\$ 0,25	R\$ 0,19	R\$ 0,16
16 horas	R\$ 0,23	R\$ 0,17	R\$ 0,15
20 horas	R\$ 0,23	R\$ 0,17	R\$ 0,15

DeVuyst et al. (2011), estudando a diferença entre a produção de energia alternativa, comparando etanol, biogás e esterco de gado, variando a taxa de juros em dois cenários. O primeiro com taxa de 4,5% e o segundo com taxa de 6%. Em ambos o VPL calculado esteve negativo. Chegou-se a conclusão que mesmo o VPL sendo negativo, ainda é viável a instalação de biodigestor visando a produção e venda de energia elétrica excedente, do que apenas para tratamento de resíduos agrícolas.

Kunz et al. (2009), estudando sistema de tratamento de dejetos de suínos constatou que com a venda de crédito carbono, há uma diminuição no custo de produção de 14 a 18%. Quando o sistema de tratamento de dejetos é instalado em propriedades rurais tem potencial para gerar receitas adicionais com biogás e biofertilizantes. Essas receitas podem representar um valor presente líquido positivo, com uma taxa interna de retorno (TIR) variando de 6,4% para 28,4% por ano, dependendo das metas ambientais e a escala do projeto.

Lázaro e Rud-strom (2007) avaliaram a economia de um digestor anaeróbico para a exploração leiteira. Eles concluíram que os preços da eletricidade não justificam a instalação e operação de um digestor. Tais resultados devem variar de forma significativa, no entanto, de acordo com o custo de qualquer energia comprada, o preço de energia vendida e o estado de regulações ou acordos de utilidade sobre a possibilidade de medição. Stokes et al. (2008) avaliaram a economia de metano em biodigestores com geração de energia elétrica utilizando opções reais para gado leiteiro. Eles também concluíram que o investimento não é economicamente justificável.

O Índice de lucratividade está descrito na Tabela 8. Observa-se que com uma produção de energia de 10 h d⁻¹, não há lucro em nenhuma das situações, confirmando

os resultados obtidos com os valores do VPL. Já produzindo 16 h d^{-1} , o índice de lucratividade torna-se maior que 1, no tempo de retorno de investimento de 20 anos. Com o tempo de geração de 20 h d^{-1} , o índice é menor que 1 com o tempo de retorno de 10 anos. Nas outras situações o índice é maior que 1, indicando retorno de investimento e lucro ao produtor.

Tabela 8 - Índice de lucratividade

	10 h		16 h		20 h	
	S/ CC	C/CC	S/CC	C/CC	S/CC	C/CC
10 anos	0,45	1,15	0,72	1,64	0,79	3,76
15 anos	0,60	1,66	0,96	1,66	1,05	4,34
20 anos	0,71	1,98	1,14	4,53	1,25	4,79

5. CONCLUSÕES

A produção de energia elétrica tendo como fonte o biogás da suinocultura, não é viável do ponto de vista financeiro. Torna-se economicamente viável quando há renda com a venda de créditos carbono.

Em relação ao tempo de retorno, conclui-se que, independente de gerar 16 ou 20 h d⁻¹, o tempo de retorno de investimento é praticamente o mesmo. Isso porque, o investimento inicial para a produção de energia gerando 20 h d⁻¹, é elevado. Com isso é indicado ao produtor gerar apenas 16 h d⁻¹ pelo fato do investimento inicial ser menor.

O custo de produção de energia elétrica torna-se competitivo (sem a venda de crédito carbono), quando o tempo de retorno de investimento é acima de 15 anos, gerando energia no mínimo durante 16 h d⁻¹. Quando os créditos carbonos são vendidos, a partir de um tempo de retorno de 10 anos e gerando 10 h d⁻¹, o custo de produção é viável ao produtor, gerando renda ao produtor com a venda de energia elétrica excedente.

Capítulo III – Balanço energético da produção de biogás em sistema de terminação de suínos

Resumo

A inovação tecnológica ocorrida na agricultura brasileira nos últimos anos e o conseqüente aumento da demanda de insumos energéticos faz com que a questão da eficiência energética torne-se importante para a determinação do grau de sustentabilidade da produção de alimentos. A produção de energia elétrica com fontes alternativas cada vez mais vem ocupando espaço no cenário nacional e mundial, devido às fontes de energia serem predominantemente de origem fóssil e finitas. Nesse contexto, visando à análise energética do sistema de produção de suínos em fase de terminação e sua conseqüente produção de energia elétrica via biogás, fez-se o balanço energético do sistema de produção. Obteve-se a maior parcela de energia de entrada com o consumo de ração com $1.065.444 \text{ kg ciclo}^{-1}$ (79,13%). Já na energia de saída o biofertilizante responde por 44,70% equivalente a $666.182,9 \text{ kg ciclo}^{-1}$ de toda a energia de saída. O coeficiente energético foi de 0,52 tornando o sistema eficiente em termos de produção e consumo de energia.

Chapter III - Energy balance of biogas production system in finishing pigs

Abstract

Technological innovation in Brazilian agriculture occurred in recent years and the consequent increase in demand for energy inputs makes the issue of energy efficiency becomes important for determining the degree of sustainability of food production. The production of electricity with alternative energy sources increasingly been occupying space in the national and global energy sources because they are predominantly fossil and finite. In this context, in order to analyze the energy production system of pigs in the finishing phase and its consequent production of electricity via biogas, made up the balance of the energy production system. We obtained the largest share of energy input with feed intake cycle with $1,065,444 \text{ kg}^{-1}$ (79.13%). Already in the biofertilizer energy output accounts for 44.70% equivalent to $666,182.9 \text{ kg}^{-1}$ cycle of all energy output. The coefficient was 0.52 energy making the system efficient in terms of production and consumption.

1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, busca-se desenvolver a agricultura de forma que não prejudique ao meio ambiente e ao mesmo tempo o aumento da produção de alimentos. A economia verde impõe inovações em bases sustentáveis para a colocação em mercados competitivos.

Emissão de gases que causam o efeito estufa, mudanças climáticas, e instabilidade de preços das energias existentes são itens importantes a serem estudados para a busca de uma economia de sustentabilidade. E a agricultura entra neste contexto, uma das atividades com maior relevância, que além de produzir alimentos pode se mal conduzida, poluir rios e nascentes, promover a derrubada de florestas, emitirem gases de efeito estufa (com a produção de animais) entre outros agravantes.

A produção de biogás, uma das alternativas para diminuir a emissão dos gases de efeito estufa, e está sendo amplamente estudada e utilizada como projetos pilotos em vários estados com incentivo da rede privada e pública do país. Com a expansão da produção de suínos no Brasil, expandiu também a quantidade de dejetos gerada, causando um problema ambiental sem tamanho.

Porém, soluções foram implantadas, sendo elas: lagoa de estabilização e biodigestores. Elas conferem o tratamento dos dejetos, transformando-os em biogás ou biofertilizantes. O biogás pode ser usado para geração de energia elétrica, e o biofertilizante em lavouras. O balanço energético da produção de suínos torna-se um importante ponto de avaliação da sustentabilidade ambiental, apontando pontos onde gasta-se maior quantidade energia não renovável, possibilitando encontrar estratégias de economia.

Este capítulo tem como objetivo fazer o balanço de energia em uma granja de suínos, que gera energia elétrica e biofertilizante proveniente do biogás.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O desenvolvimento da agricultura, a partir da II Guerra Mundial, teve como meta aumentar a produção mediante ao uso de insumos que tinham como matéria-prima recursos não-renováveis, como derivados do petróleo, com consequências diretas na sustentabilidade, não só no campo econômico, como nos fluxos de energia envolvidos. (ALMEIDA et al., 2010).

Vários países nos últimos estão fazendo uso de instrumentos, como incentivo econômico para aumentar a produção de energia renovável. Os objetivos são: reduzir as emissões de gases do efeito estufa e aumentar a segurança energética através da substituição das energias fósseis. Os argumentos políticos para o aumento da produção de energia renovável são incentivos econômicos são classificados em preço e medidas de quantidade gerada. (Shaw et al. 2010).

A energia empregada em sistemas agrícolas, sua distribuição, seus fluxos e conversão fazem com que seja importante para a avaliação do grau de sustentabilidade de tais sistemas, ainda mais considerando as crises existentes no setor energético brasileiro. Tal procedimento permite determinar quais processos, equipamentos e materiais exigem maior consumo energético, apontando caminhos para economia de energia. (TEIXEIRA et al. 2005; CAMPOS et al. 2003). Para avaliar sistemas de produção de agricultura familiar, essas análises objetivam dar maior compreensão do grau de sustentabilidade e determinar sua dependência de energia extra na propriedade, e o peso que essa dependência tem no processo produtivo. (ALMEIDA et al. 2010).

A economia renovável é projetada para o desenvolvimento da bioenergia para que a dependência de combustíveis fósseis seja reduzida e consequentemente a redução da emissão dos gases de efeito estufa bem como o fomento do desenvolvimento da economia rural. Para ser considerado um substituto viável para os combustíveis fósseis, um combustível alternativo deve exibir benefícios ambientais superiores aos do combustível fóssil. Deve ser economicamente competitivo e ser capaz de serem produzidos para atender a demanda de energia. Também deve apresentar um ganho líquido de energia sobre as fontes de energia usadas para produzi-la. (Bridgwater, 2006).

O balanço energético objetiva a determinação de fluxos de energia, apontar sua demanda total, sua eficiência energética mostrada pelo ganho líquido de energia e pela relação saída/entrada (energia produzida/ energia consumida) e a energia usada para

produzir ou processar um quilograma de determinado produto (Siqueira et al. 1999; Pimentel, 1980). Considerando a importância da produção de alimentos sustentável, o balanço energético e estudo econômico tornam-se indicativo de sustentabilidade ambiental, considerando o uso de energias não renováveis e sustentabilidade no campo como requisito para a continuação da atividade agrícola (Pracucho et al. 2007).

A produção agrícola com seus sistemas intensivos vem causando sérios danos ambientais com dois aspectos: um pelo crescente e ágil esgotamento de recursos naturais e outro pela poluição ou contaminação por causa do excesso de liberação de componentes de resíduos no meio ambiente (Romero et al. 2008; Kosioski e Ciocca, 2000). Todo processo de produção de alimentos gera grande quantidade de resíduos e esses resíduos armazenam alguma energia. Alguns sistemas podem reverter esse resíduo em energia, diminuindo seu custo de produção e virem a funcionar de forma energeticamente equilibrada (Santos e Lucas Júnior, 2004).

O balanço de energia tem relação direta com o balanço econômico e sua relevância vem sendo estudada periodicamente. Souza et al. (2012) avaliou o ciclo de vida do etanol da cana-de-açúcar e descobriu que a fase agrícola demanda 96% de toda a energia para produção do etanol, a maior contribuição (48,5%) está associada ao uso de combustíveis de origem fóssil com a colheita e transporte da produção agrícola. Pöschl et al. (2010) estudaram a eficiência energética da produção de biogás por várias maneiras e constataram que a eficiência de energia pode ser aumentada em até 6,1% da recuperação residual de biogás, a partir de biodigestores.

O uso potencial de biodigestores para a produção de fertilizantes reduz a dependência de fertilizantes minerais que consomem grande quantidade de energia, e atenuando assim as emissões de gases do efeito estufa. (ENVITEC, 2009; Tambone et al, 2009). A utilização de biogás faz com que haja um resultado positivo do ciclo de vida no balanço energético. As análises de balanço energético de sistemas que usam o biogás como matéria prima vem sendo atualizado frequentemente, porém não há base de dados confiável para comparações isso devido a variabilidade de sistemas (Berglund & Börjesson, 2006).

2.1 Produção de suínos e digestão anaeróbia

São produzidos anualmente milhões de toneladas de resíduos sólidos provenientes de fontes municipais, industriais e agrícolas. A decomposição

indiscriminada destes resíduos orgânicos faz com que ocorra a contaminação da terra, água e ar. De todas as formas de resíduos sólidos orgânicos, a mais abundante é o esterco animal gerado desde pequenas propriedades até grandes fazendas, conforme aumenta o numero de animais, mais intenso é o problema de poluição. (Nasir et al. 2012).

A produção de biogás através da digestão anaeróbia da matéria orgânica, produz resíduos (biofertilizantes). Quando aplicado em solo agrícola emite mesmo que em pequenas quantidades o CO_2 e CH_4 (Gerardi, 2003). O número de unidades de produção de biogás tem aumentado significativamente na ultima década, tendo como consequência o aumento de resíduos produzidos. Portanto, busca-se encontrar uma forma sustentável, uso econômico e seguro destes resíduos é de suma importância. (Odlare et al. 2012).

Angonese et al. (2006) e Pereira et al. (2008) apontam que com a expansão da atividade suínocla no país e avanços tecnológicos na produção tem aumentado a geração de dejetos e muitos desses dejetos são lançados em rios e mananciais. Devido à adoção de sistemas confinados de produção de suínos, uma grande quantidade de dejetos é gerada. Conforme Souza et al (2004), um suíno pode produzir ao dia 7,2 l de dejetos considerando a eficiência do processo em torno de 60,5%, a produção de metano, levando-se em conta a carga orgânica, é aproximadamente $0,504 \text{ m}^3.\text{cabeça}^{-1}.\text{d}^{-1}$, o que equivale a uma produção de biogás de $0,775 \text{ m}^3$ de biogás.cabeça de suíno $^{-1}.\text{d}^{-1}$.

A produção de biogás através de digestão de biomassa produz dióxido de carbono como um produto. Junto com o hidrogênio produzido por eletrólise pode alimentar uma fonte renovável de energia. A redução catalítica de dióxido de carbono poderia produzir o biogás, utilizando o carbono da matéria-prima da biomassa de maneira eficiente. (Mohseni et al. 2012)

Como produto da digestão anaeróbia, o biogás é um candidato em potencial para substituir os combustíveis fósseis como também diminuir a emissão de metano na atmosfera. Em substituição ao diesel, em motores-geradores, vem gerando energia elétrica de qualidade para suprir o consumo de propriedades de pequeno porte e de grande porte. Outro produto da digestão anaeróbia é o biofertilizante que é usado em lavouras, diminuindo o custo de produção comparado com os fertilizantes convencionais.

O tratamento de resíduos orgânicos através de processos de digestão anaeróbia tem sido reconhecido como um meio de controlar o efeito estufa e gerar energia elétrica

(Barton et al. 2008). A esse respeito vários países concordaram em dar subsídios à produção de biogás como fonte de energia renovável na produção combinada de calor e energia, a fim de diminuir as emissões de gases de efeito estufa seguindo o Protocolo de Kioto. (CCE, 2001).

Na digestão anaeróbia cerca de 50 a 90 % do material orgânico é convertida em biogás que é removido do reator e uma pequena parte do material orgânico (de 5 a 15%) transforma-se em biomassa microbiana. (Arruda, 2004). Há uma diversidade de resíduos que podem ser tratados por vias anaeróbias (tanto resíduos rurais, urbanos e industriais) com o objetivo de remover a carga orgânica poluente e dos microrganismos patogênicos, produção de biogás e biofertilizantes estáveis, mais ricos em nutrientes e com melhor qualidade sanitária em relação ao material original (Mittal, 2006; Merzouki et al., 2005; Parawira, et al., 2006).

Conforme a Figura10, a matriz da agroenergia pode ser disposta da seguinte forma:

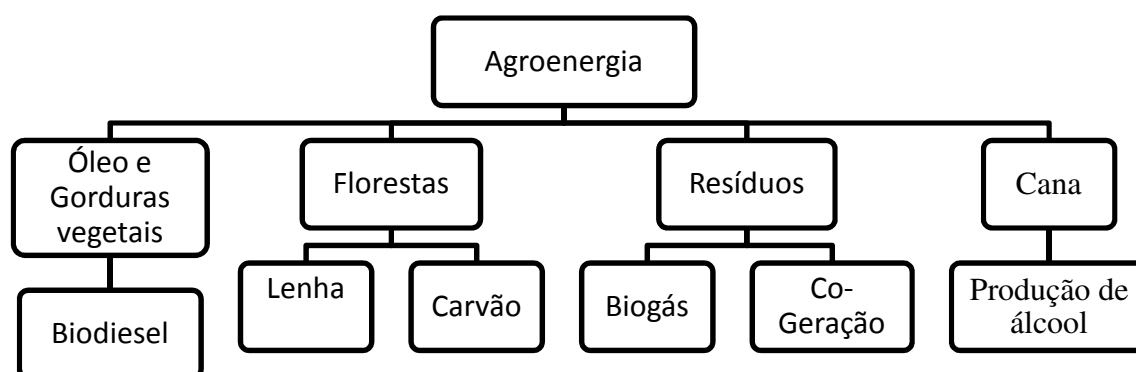


Figura 10 - Matriz da Agroenergia. FONTE: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2006).

A agroenergia engloba vários setores da produção de alimentos, tais como a produção de carne, produção de vegetais (soja, milho), a agroindústria alimentícia entre outros. Tornando-se importante para a variação da matriz energética nacional. Como a sustentabilidade na produção de alimentos é um dos assuntos mais importantes da atualidade, o balanço energético torna-se imprescindível para avaliar a viabilidade na produção de alimentos.

O mercado de energias renováveis tem seu desenvolvimento diferenciado entre as regiões. Tem-se como exemplo a África que possui taxas de acesso a energia renovável muito baixa, enquanto a América Latina a energia elétrica é basicamente de fontes renováveis. A energia renovável rural é um mercado altamente dinâmico e com

evolução constante, porém é contestada por sua falta de estrutura. Os incentivos de políticas públicas foram poucos durante muitos anos, no entanto a implantação de nova tecnologia de produção de energias renováveis e a redução de custos aponta um futuro prospero na área.

A produção de alimentos tende a diminuir relativamente, enquanto a população mundial tende a aumentar, por isso há de descobrir formas de produção que não agrida ao meio ambiente, e também contribuía para a produção energética do país, tornando-se viável e ambientalmente correta.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Delimitação do sistema

A delimitação do sistema deu-se pelas atividades relacionadas à produção de suínos. Como energia de entrada considera-se o consumo de água, de ração e energia elétrica. O peso vivo dos leitões produzidos, o biofertilizante e o biogás são energias de saída, conforme especificado na Figura 11. Não foi considerada a produção final de energia elétrica, pelo fato de estar diretamente relacionado com a produção de biogás.

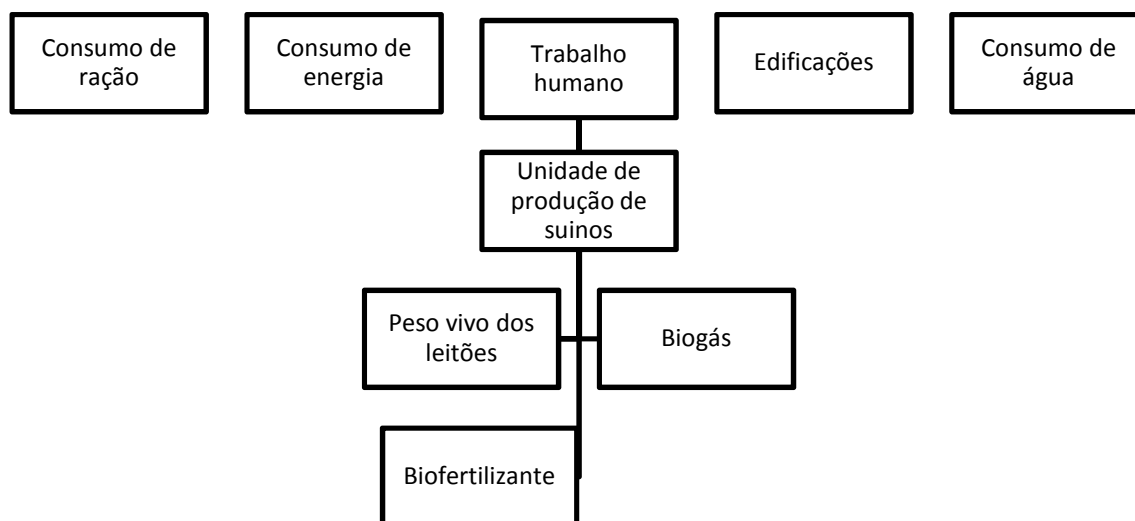


Figura 11 -- Sistema de produção de suínos da Granja Colombari

3.2 Sistema de produção de suínos

O sistema de produção de suínos é intensivo, ou seja, um sistema de criação confinado em fase de terminação. Tem capacidade média de 4673 cabeças. Os animais são dispostos em baias de 42 m², com 42 animais cada. Os animais chegam com 25 kg e finalizam o ciclo de 120 dias com 120 kg animal⁻¹.

3.3 Sistema de tratamento de dejetos

O sistema de tratamento de dejetos é composto por dois biodigestores modelo canadense em serie. O primeiro tem capacidade de 29,2 m³d⁻¹, com tempo de retenção

hidráulica de 30 dias. O segundo biodigestor possui capacidade de $7,3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, projetado com tempo de retenção hidráulica de 30 dias, isso porque as temperaturas médias no período mais frio do ano ficam entre 16 e 17°C. Na tubulação de saída de o efluente do biodigestor é disposto em uma caixa de passagem, sendo conduzida a esterqueira para armazenamento de biofertilizante, para depois ser distribuído na lavoura.

3.4 Matriz energética

O estudo se concentra na produção de suínos em fase de terminação. O consumo de ração médio de ração por animal é de $1,9 \text{ kg d}^{-1} \text{ animal}^{-1}$ na fase de terminação. Os componentes da ração são milho triturado, farelo de soja e núcleo nutricional.

Já o consumo de água é de $1,8 \text{ L d}^{-1} \text{ animal}^{-1}$. Para o cálculo de consumo de energia elétrica foi feita uma média de consumo dos últimos quatro meses.

Para o cálculo da produção de biofertilizante foi usada a densidade apresentada por Sedyama et al. (2009), que caracterizou o biofertilizante de suínos apresentando as seguintes propriedades após um tempo de retenção de 30 dias: : N = 22,7; P = 15,2; K = 11,0; Ca = 17,0; Mg = 7,7; S = 3,9; C. org. = 2,1 e Na = 5,2 e, em mg L⁻¹; , Zn = 2068; Fe = 3859; Mn = 176; Cu = 1166; Cr = 0,13; Ni = 0,21 e Cd = 0,01; pH (H₂O) = 8,61; densidade = 1,1 g cm³ e C/N = 0,09.

No trabalho humano, considera-se que são seis homens trabalhando 8 horas por dia, num montante de 120 dias. Os coeficientes energéticos estão dispostos na Tabela 9.

Tabela 9 - Coeficientes energéticos dos itens de entrada e saída

Entrada		Saída	
Ração ⁽¹⁾	17 MJ.kg ⁻¹	Leitões ⁽⁴⁾	9,21 MJ.kg ⁻¹
Água ⁽²⁾	$2,47 \times 10^{-3} \text{ MJ.l}^{-1}$	Biofertilizantes ⁽⁵⁾	8 MJ.kg ⁻¹
Consumo de Energia Elétrica ⁽³⁾	13,11 MJ.kWh ⁻¹	Biogás ⁽⁶⁾	22,35 MJ. m ⁻³
Trabalho humano ⁽⁷⁾	4,39 MJ h ⁻¹		
Edificações	956,03 MJ m ⁻²		

Fonte: 1 OETTING (2002); 2 SANTOS & LUCAS JUNIOR (2004); ; 3 Brasil (2007); 4 COMITRE (1995); 5 PELLIZZI (1992); 6 ROPPA (2000); 7 PIMENTEL (1980).

3.5 Produção de energia elétrica

O sistema de geração de energia elétrica é composto por um conjunto motor gerador, sistema de proteção e controle de comando, o mesmo é interligado a rede de distribuição de energia. Possui um transformador de 75 kVA (220/127 V), com tensão primária de 13,8 kV e saída 220/127 V de 5 colunas envolventes, com disjuntor de 200 Ampêres.

O motor gerador produz 80 kWh para atender a demanda de energia da propriedade, como o conjunto moto-bomba e distribuição de energia para a fertirrigação, a fábrica de ração e as quatro residências existentes na propriedade. O motor gerador funciona de acordo com a disponibilidade de biogás nos biodigestores, tendo sido dimensionado para operar 8 horas por dia.

3.6 Coeficiente de eficiência energética

Para cálculo do coeficiente de eficiência energética (η) segue-se a metodologia de Quesada et al. (1991) citada por Angonese et al. (2006) onde:

$$\eta = \sum \frac{energia_{saída}}{energia_{entrada}} \quad (14)$$

A eficiência é medida pelo balanço energético ou relação entrada/saída, sendo realizada com a determinação da quantidade de energia obtida no produto em relação à utilizada no sistema para produzi-lo (Campos, 2004). A energia de saída é obtida pela conversão direta do rendimento de produtos em energia. (Albuquerque et al. 2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 10, estão relacionadas à quantidade de insumos necessária para a produção de suínos. A maior parcela está no consumo de ração. Em seguida, vem o consumo de água e energia elétrica.

Tabela 10 - Quantidade de insumos necessária para produção de suínos

Entrada	Total
Consumo de ração	1.065.444 kg ciclo ⁻¹
Consumo de água	1.009.368 L ciclo ⁻¹
Consumo de energia elétrica	271.592 kWh ciclo ⁻¹
Trabalho humano	5760 h ciclo ⁻¹
Edificações	4673 m ² ciclo ⁻¹

Com relação à produção no término do ciclo, constata-se que são produzidos 560.760 kg ciclo⁻¹ de carne suína, 666.182 kg ciclo⁻¹ de biofertilizante e produz-se 55.360 m³ciclo⁻¹ de biogás conforme Tabela 11.

Tabela 11 - Quantidade de energia produzida na saída do ciclo

Saída	Total
Leitões produzidos	560.760 kg ciclo ⁻¹
Biofertilizantes	666.182,9 kg ciclo ⁻¹
Biogás	66.360 m ³ ciclo ⁻¹

A energia embutida nos processos de entrada está disposta na Figura 12. A maior proporção de energia na entrada é do consumo de ração que corresponde a 79,13% de toda a energia na entrada. O consumo de água e o trabalho humano são os que têm menor energia embutida (0,010% e 0,049% respectivamente). Referente ao consumo de energia e edificações, a energia embutida é respectivamente 1,29% e 19,51% respectivamente.

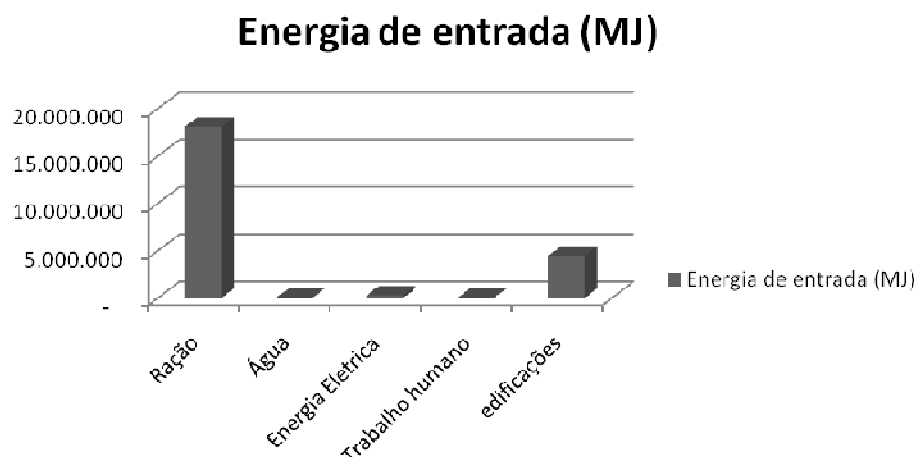


Figura 12 - Eficiência energética dos componentes de entrada para o ciclo produtivo na fase terminação de suínos

No entanto, na energia de saída a maior proporção está vinculada ao biofertilizante (44,70%) seguido pela produção de suínos (42,85%) e de biogás (12,44%) representada na Figura 13.

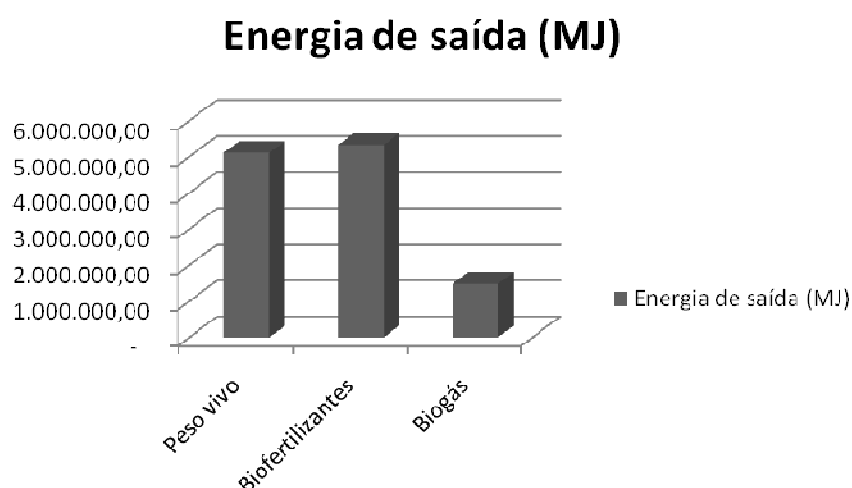


Figura 13 - Eficiência energética dos componentes de saída para o ciclo produtivo na fase terminação de suínos

De toda a energia utilizada no sistema de produção, a energia de entrada corresponde a 65,75% (22.890.573 MJ) do total. A energia de saída equivale a 34,24% (11.921.132 MJ). O coeficiente de eficiência energética encontrado foi 0,5208. Souza et al. (2009) analisando o sistema de produção de suínos e juntamente com o desenvolvimento de pastagens encontrou um coeficiente energético de 0,31. Angonese et al. (2006) analisando um ciclo de terminação de suínos obteve o coeficiente de 0,38.

Segundo Pöschl et al. (2010) a variação do coeficiente energético depende do sistema a ser analisado e da qualidade da matéria-prima.

Farrell et al. (2006) e Hammerschalag (2006) estudando o balanço de energia da produção de etanol tendo como matéria-prima o milho, concluíram que o retorno de energia investida é positiva e seu uso faz com que haja uma redução significativa do uso do petróleo. A redução de entradas de combustíveis fósseis ainda é vantajoso especialmente no que diz respeito a redução das emissões de gases de efeito estufa. Para melhorar o balanço energético, é necessário reduzir a entrada de combustíveis fósseis e utilizar os fluxos de vários subprodutos na alimentação de animais. (DeVuyst et al. 2011).

5. CONCLUSÕES

O consumo de ração é o que demanda maior quantidade de energia na entrada do sistema. Corresponde a 79,13%. Isso se deve a composição da ração e a quantidade consumida por animal.

O biofertilizante responde por 44,70% da energia de saída, seguido pelo peso vivo e o biogás.

O coeficiente energético do sistema estudado é de 0,5208, ou seja, 52,08% da energia de entrada é convertida em energia útil no final do ciclo.

6. CONCLUSÕES GERAIS

Com a necessidade de renovação da matriz energética, os governos estão incentivando as novas formas de produção de energia, visando o desenvolvimento econômico e a produção de alimentos de forma sustentável.

A produção de energia elétrica na propriedade não é viável economicamente do ponto de vista financeiro. Apenas torna-se viável quando o produtor tem renda com a venda de crédito carbono.

Independente de gerar 16 h d^{-1} ou 20 h d^{-1} , o tempo de retorno é praticamente o mesmo. Isso acontece devido ao alto investimento inicial para a geração durante 20 h d^{-1} . Portanto é indicado ao produtor produzir apenas 16 h d^{-1} , pelo fato do investimento inicial ser menor.

O custo de produção de energia elétrica torna-se competitivo quando o tempo de retorno é acima de 15 anos com geração mínima de 16 h d^{-1} . Com a venda de crédito carbono, o tempo de retorno cai para 10 anos e com geração de 10 h d^{-1} , tornando-se viável a produção de energia.

O balanço energético demonstra eficiência energética no sistema de produção de suínos. A maior porção de entrada de energia corresponde ao consumo de ração. Já na saída de energia o biofertilizante responde pela maior parcela.

A Granja Colombari é considerada uma referencia em sustentabilidade na região oeste do Paraná. Seu projeto piloto está dando bons resultados no que se refere a sustentabilidade na produção de alimentos. No entanto, quando se faz uma análise mais profunda do sistema há indícios do sistema de produção não ser viável. Mas é um exemplo a ser seguidos por outros produtores de suínos, bovinos e aves, por ser um sistema de produção de energia limpa e renovável.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPECS- **Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína** (2012).

ALBUQUERQUE, F. A. et al. **Análise energética do consórcio mamona com amendoim**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 6., 2008, Salvador. Anais... Salvador: SEAGRI: Embrapa Algodão, 2008a. 1 CD-ROM.

ALMEIDA L.C. F de., BUENO O. de C., ESPERANCINI M.S.T. **Avaliação energética da cultura do milho em assentamento rural**. Iperó-SP. Revista Energia na Agricultura, Botucatu, v.25, n.2, p.105-122, 2010.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas da Energia Elétrica no Brasil**. 2008.

ANGONESE A. R., CAMPOS A. T., ZACARIM C. E., MATSUO M. S., CUNHA F. **Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamento de resíduos em biodigestores**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.10, n.3, p.745-750, 2006.

ANGONESE A. R., CAMPOS A. T., WELTE R. A. **Potencial de redução de emissão de equivalente de carbono de uma unidade suinícola com biodigestor**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.27, n.3, p.648-657, 2007.

ARRUDA, V. C. M., **Tratamento anaeróbio de efluentes gerados em matadouros de bovinos**. 2004. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife-PE.

ARTHURSON V. **Closing the global energy and nutrient cycles through application of biogas residue to agricultural land: potential benefits and drawbacks**. Energies, v.2, p.226-40, 2009.

BEN – **Balanco Energético Nacional 2011: Ano base 2010** / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro : EPE, 2011.

BERGLUND M, BÖRJESSON P. **Assessment of energy performance in the life-cycle of biogas production**. Biomass Bioenergy; v.30, p.254–66, 2006.

BIOGASBURNER. **Design equations for gas burner**. 2012

BORJESSON, P., BERGLUND, M., 2003. **Environmental analysis of biogas systems**. Report nr. 45, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Lund, Sweden, (Report, in Swedish with English summary).

BORJESSON P., BERGLUND M. **Environmental systems analysis of biogas systems - Part I: Fuel-cycle emissions**. Biomass and Bioenergy, v.30, p.469-485, 2006

BRASIL – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agricultura de Baixo Carbono**. 2012.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional**. Brasília, 2007. 192p.

BRASIL – **Portal Brasil**. 2012.

CAMPOS, A.T.; SAGLIETTI, J.R.C.; CAMPOS, A.T.; BUENO, O.C.; RESENDE, H.; GASPARINO, E.; KLOSOWSKI, E.S. **Custo energético de construção de uma instalação para armazenagem de feno**. Ciência Rural, Santa Maria, v.33, n.4, p.667-672, 2003.

CAMPOS, A. T. **Balancos energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agroecossistemas**. Revista do Centro de Ciência Rural, v. 34, n. 06, p. 1977-1985, 2004.

CCE – Centro de Conservação de Energia. **Guia Técnico do Biogás**. Ed. JE92 Projetos de Marketing Ltda., Alges, Junho 2000.

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **3º Leilão de Reservas e 2º Leilão de Fontes Renováveis**. 2010.

CHEN S., CHEN B., SONG D. **Life-cycle energy production and emissions mitigation by comprehensive biogas–digestate utilization**. Bioresource Technology, v.114, p.357–364, 2012.

CHYNOWETH, D.P. (2004). **Biomethane from energy crops and organic wastes**. International Water Association, Anaerobic Digestion 2004, Proceedings 10th World Congress, vol. 1, Montreal, Canada, pp. 525–530.

COLDEBELLA A. **Viabilidade da Cogeração de Energia Elétrica com Biogás Da Bovinocultura De Leite**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 2006.

COLLET P., HÉLIAS A., LARDON L., RAS., M., , GOY R. A STEYER., J. P. **Life-cycle assessment of microalgae culture coupled to biogas production**. Bioresource Technology, v.102, p.207–214, 2011.

COMITRE V. **A questão energética e o padrão tecnológico da agricultura brasileira**. Informações econômicas, São Paulo, v.25, n.12, p.29-35, 1995.

COPEL – **Programa de Geração Distribuída com Saneamento Ambiental**. 2009.

CORNELISSEN ST., KOPER M., DENG Y. Y. **The role of bioenergy in a fully sustainable global energy system**. Biomass and Bioenergy, v.41, p.21-33, 2012.

CORTEZ, L.A.B., LORA, E. E. S., GOMEZ, E. **Biomassa para energia**. Campinas: UNICAMP, 2008

COSTA D. F. da. **Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto**. São Paulo, Universidade de São Paulo, 2006. Dissertação. 194p.

DAM J. V, JUNGINGER M., FAAIJ A., JÜRGENS I., BEST G., FRITSCHÉ U. **Overview of recent developments in sustainable biomass certification.** Biomass and Bioenergy, v.32, p.749-780, 2008.

DEUBLEIN, D; STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources: an introduction.** Weinheim-Germany: Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008.

DEVUYST E. A., PRYOR S. W. , LARDY G. , EIDE W., WIEDERHOLT R. **Cattle, ethanol, and biogas: Does closing the loop make economic sense?** Agricultural Systems, v.104, p.609-614, 2011.

DURÃES, F. O. M. **Biocombustíveis: reais questões para a equação Brasil de desenvolvimento sustentável.** Revista de Política Agrícola, n. 1, p. 129-134, 2008.

ERB K. H., HABERL H., PLUTZAR C. **Dependency of global primary bioenergy crop potentials in 2050 on food systems, yields, biodiversity conservation and political stability.** Energy Policy, v.47, p.260–269, 2012.

FAO. **Oportunidades e desafios da produção de biocombustíveis para a segurança alimentar e meio ambiente na América Latina e no Caribe.** Documento preparado para a 30^a Sessão da Conferência Regional da FAO para América Latina e Caribe, Brasília, Brasil; 14-18 abril de 2008.

FARRELL, A.E., PLEVIN, R.J., TURNER, B.T., JONES, A.D., O'HARE, M., KAMMEN, D.M., **Ethanol can contribute to energy and environmental goals.** Science, v. 311, p.506–508, 2006

FERNANDES D. M., **Biomassa e Biogás da Suinocultura.** 2012. 176p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura). Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel 2012.

GBEP. **A review of the current state of bioenergy development in G8 + 5 countries.** Global Bioenergy Partnership; 2007

GERARDI M.K. **The microbiology of anaerobic digesters.** Hoboken NJ, U.S.A: John Wiley & Sons, Inc; 2003. p. 177.

GOES, T.; ARAÚJO, M.; MARRA, R. **Biodiesel e sua Sustentabilidade. 2010.** (Artigos técnicos EMBRAPA) .

GULOSIN, M., OSTOJIC, A., LATINOVIC S., JANDRIC M., IVANOVIC O.M., **Review of the economic viability of investing and exploiting biogas electricity plant – case study Vizelj, Serbia.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 16, Issue 2, February 2012, pages 1127-1134.

GWAVUYA S.G., ABELE S., BARFUSS I., ZELLER M., MÜLLER J. **Household energy economics in rural Ethiopia: A cost-benefit analysis of biogas energy.** Renewable Energy, Volume 48, December 2012, Pages 202-20.

GOLDEMBERG, J., LUCON, O., **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. 3 ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008.

HAMMERSCHLAG, R., **Ethanol's energy return on investment: a survey of the literature 1990 – present**. Environmental Science and Technology, v.40, p.1744–1750, 2006.

HONÓRIO M. O. **Estimativa de crédito de carbono da produção e Queima do biogás proveniente de dejetos suínos: Estudo de caso**. 88p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

IANNICELLI, L. A. **Reaproveitamento energético do biogás de uma indústria cervejeira**. Taubaté. Dissertação de mestrado. DEM/ UNITAU, 2008

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística** – AEB. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

ICB - **Instituto Carbono Brasil**. 2012.

JUNGINGER M., BOLKESJ T., BRADLEY D., DOLZAN P., FAALJ A., HEINIMO J., HEKTOR B., LEISTAD O., LING E., PERRY M., PIACENTE E., ROSILLO-CALLE F., RYCKMANS Y., SCHOUWENBERG P. P., SOLBERG B., TROMBORG E., WALTER A. S., WIT M. DE. **Developments in international bioenergy trade**. Biomass and Bioenergy, v.32, p.717-729, 2008.

KARPENSTEIN-MACHAN M. **Sustainable cultivation concepts for domestic energy production from biomass**. Critical Reviews in Plant Sciences, v.20, p.1-14, 2001.

KEY, N., STACY Sneeringer. **Climate Change Policy and the Adoption of Methane Digesters on Livestock Operations**, ERR-111,U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, February 2011.

KUNZ A., MIELE M., STEINMETZ R.L.R. **Advanced swine manure treatment and utilization in Brazil**. Bioresource Technology, v.100, p. 5485-5489, 2009.

KOSIOSKI, G.V.; CIOCCA, M.L.S. **Energia e sustentabilidade em agroecossistemas**. Ciência Rural, Santa Maria, v.30, n.4, p.737-745, 2000.

LANTZ, M., 2004. **Farm based biogas production for combined heat and power production: economy and technology**. Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Lund (Master's thesis, in Swedish with English summary).

LANTZ M., SVENSSON M., BORJESSON L., BORJESSON P. **The prospects for an expansion of biogas systems in Sweden—Incentives, barriers and potentials**. Energy Policy, v.35, p.1830-184, 2007.

LIEBRAND, C., LING K. C.. **“Carbon Credits for Farmers.” US Department of Agriculture**. Rural Development. Rural Cooperatives, v.75, p.10-12, 2008

MALKKI H, VIRTANEN Y. **Selected emissions and efficiencies of energy systems based on logging and sawmill residues**. Biomass Bioenergy, p.321-327, 2003.

MARQUES C. A. **Microgeração de energia elétrica em uma propriedade rural utilizando biogás como fonte de primária de energia elétrica**. Cascavel, Unioeste, 2012. Dissertação. 81 p.

MARTHA JR., G. B. **Dinâmica de uso da terra em resposta à expansão da cana-de-açúcar no Cerrado**. Revista de Política Agrícola, n. 3, p. 31-44, jul./ago./set, 2008.

MARTINS, F. M. OLIVEIRA, P. A. V. de. **Análise econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás na suinocultura**. Engenharia Agrícola. v.31, p. 477-486, 2011.

MCTI. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Status atual das atividades de projeto do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) no Brasil e no mundo**. 2007.

MERZOUKI, M.; BERNET, N.; DELGENÈS, J.P.; BENLEMLIH, M. **Effect of prefermentation on denitrifying phosphorous removal in slaughterhouse wastewater**. Bioresource Technology, v.96, n.12, p.1317-1322, 2005.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano Nacional de Agroenergia, 2006-2011**. 2ª Edição Revisada. Brasília, 2006.

MITTAL, G.S. **Treatment of wastewaters from abattoirs before land application – a review**. Bioresource Technology, v.97, n.9, p.1119-1135, 2006.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional**. 2011.

MME – Ministerio das Minas e Energia. **PROINFA: Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia**. 2005

MOLLER, H.B., NIELSEN, A.M., NAKAKUBO R., OLSEN, H. J. **Process performance of biogas digesters incorporating pre-separated manure**. Livestock Science v.112, p.217–223, 2007.

MOHSENI F., MAGNUSSON M., GÖRLING M., ALVFORS P.. **Biogas from renewable electricity – Increasing a climate neutral fuel supply**. Applied Energy, v.90, p.11–16, 2012.

NASIR I. M., GHAZI T. I. M., OMAR R. **Production of biogas from solid organic wastes through anaerobic digestion: a review**. Applied Microbiology and Biotechnology, v.95, p.321-329, 2012.

OETTING L. L., **Avaliação de diferentes marcadores para determinação da digestibilidade e taxa de passagem do alimento em suínos**. 2002. 59f. Dissertação (Mestrado em energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

ODLARE M., ABUBAKER J., LINDMARK J., PELL M., THORIN E., NEHRENHEIMA E. **Emissions of N₂O and CH₄ from agricultural soils amended with two types of biogas residues.** Biomass e Bioenergy, v.44, p.112-116, 2012.

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

OLIVEIRA, P.A.V. de; MARTINS, F.M. **Utilização do biogás na suinocultura para geração de energia elétrica.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007, Bonito. Anais... Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2007. 1 CD-ROM.

PARAWIRA, W.; MURTO, M.; ZVAUYA, R.; MATTIASSON, B. **Comparative performance of a UASB reactor and an anaerobic packed-bed reactor when treating potato waste leachate.** Renewable energy, v.31, n.6, p.893-903, 2006.

PEREIRA B. D., MAIA J.C.S., CAMILOT R. **Eficiência técnica na suinocultura: efeito do gastos com o meio ambiente e da renúncia fiscal.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.12, n.2, p.200-204, 2008.

PIMENTEL, D. **Handbook of energy utilization in agriculture.** Boca Raton: CRC Press, 1980. 475p.

PÖSCHL M., WARD S., OWENDE PHILIP. **Evaluation of energy efficiency of various biogas production and utilization pathways.** Applied Energy, v.87, p. 3305–3321, 2010.

PRACUCHO T. T. G. M., ESPERANCINE M. S.T., BUENO O.C. **Análise energética econômica da produção de milho (Zea mays) em sistema de plantio direto em propriedades familiares no município de Pratânia – SP.** Energia na agricultura, Botucatu, v.22, p. 94-109, 2007.

PUKASIEWICZ S. R. M. **Tratamento do efluente do processamento de subprodutos da indústria de produtos cárneos em filtro anaeróbico.** 69 f. Dissertação. (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2010

REHL, T., MÜLLER, J. **Life cycle assessment of biogas digestate processing technologies.** Resources, Conservation and Recycling, v.56, p.92–104, 2011.

ROMERO, M.G.C.; BUENO, O.C.; ESPERANCINI, M.S.T. **Eficiência energética e econômica em sistemas familiares de produção de algodão.** Informações Econômicas, São Paulo, v.38, n.1, p.7-19, 2008.

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

SANTOS, T.M.B.; LUCAS JÚNIOR, J. **Balanço energético em galpão de frangos de corte.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.24, n.1, p.25-36, 2004.

SOUZA, S. N. M., **Produção de energia elétrica a partir do biogás**. Instituto de Tecnologia Aplicada.2011.

SVENSSON, M., 2005. **The technology and economy of farm-scale, high solids anaerobic digestion of plant biomass**. Doctoral Dissertation, Department of Biotechnology, Lund University, Lund.

SHAW D., HUNG M. F., LIN Y. H **Using net energy output as the base to develop renewable energy**. Energy Policy, v. 38, p.7504–7507, 2010.

SILVA C. R. A. DA., GARRAFA M. T. F., NAVARENHO P. L., GADO R., YOSHIMA S. **A biomassa como alternativa energética para o Brasil** (2005).

SILVA, E.P.; CAMARGO, J.C.; SORDI A.; SANTOS, A.M.R. **Recursos energéticos, meio ambiente e desenvolvimento**. Multiciencia, UNICAMP, v.I, 2003.

SINGH K.J., SOOCH S. S., **Comparative study of economics of different models of family size biogas plants for state of Punjab, India** - Energy Conversion and Management, Volume 45, Issues 9–10, June 2004, Pages 1329-1341.

SIQUEIRA, R.; GAMERO, C.A.; BOLLER, W. **Balanço de energia na implantação e manejo de plantas de cobertura de solo**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.19, n.1, p.80-89, 1999.

SOUZA, S. N. M. de, PEREIRA, W. C. PAVAN, A. A. **Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura**. Acta Scientiarum Technology, V. 26, n.2, 2004. Páginas 127-133.

SOUZA C. V., CAMPOS A. T., BUENO O. C., SILVA E. B. **Análise energética em sistema de produção de suínos com aproveitamento de dejetos como biofertilizantes em pastagem**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.29, n.4, p.547-557, 2009.

SOUZA S. P., ÁVILA M.T., PACCA S. **Life cycle assessment of sugarcane ethanol and palm oil biodiesel joint production**. Biomass e Bioenergy, v.44, p.70-79, 2012.

STARR K., GABARREL X., VILLALBA G., TALENS L., LOMBARDI L., **Life Cycle Assessment of Biogás Upgrading Technologies**. Waste Management, v. 32, p.991-999, 2012.

STOKES, J.R., RAJAGOPALAN, R.M., STEFANOU, S.E., **Investment in a methane digester: an application of capital budgeting and real options**. Review of Agricultural Economics, v.30, p.664–676, 2008.

TAMBONE F, GENEVINI P, D'IMPORZANO G, ADANI F. **Assessing amendment properties of digestate by studying the organic matter composition and the degree of biological stability during the anaerobic digestion of the organic fraction of MSW**. Bioresource Technology v.100: p.3140–2. 2009;

TEIXEIRA, C.A.; LACERDA FILHO, A.F.; PEREIRA, S.; SOUZA, L.H.; RUSSO, J.R. **Balanço energético de uma cultura de tomate**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.9, n.3, p.429-432, 2005.

VIOLA, E. **O Brasil na Arena Internacional da Mitigação da Mudança Climática**. Centro de Estudos de Integração e Desenvolvimento, Brasília, 2009.

WARD A, HOBBS P.J., HOLLIMAN P.J., JONES D.L. **Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources**. Bioresource Technology, v.99, p. 7928-7968, 2008.

WALLA, C., SCHNEEBERGER, W. **The optimal size for biogas plants**. Biomass and Bioenergy v. 32, p.551-557, 2009.

WALSH, J.L., ROSS, C. C., SMITH, M.S., HARPER, S.R., WILKINS, W.A. **Handbook on biogas utilization**. Georgia, Atlanta, USA: Georgia Tech Research Institute (GTRI) and U.S. Department of Energy (DOE), 156p. 1988.

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. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Regional de Blumenau, Centro de Ciências Tecnológicas, Blumenau, 2003.

8. ANEXOS

Produção de 10 h d⁻¹ – tempo de vida útil – 10 /15/20 anos

Produção media anual de biogás	201.845 m ³
Produção média anual de energia elétrica	241.703 kWh
Consumo médio anual de energia elétrica	67898 kWh
Valor pago pela concessionária de energia	R\$ 140,00 MWh
Taxa de juros	5,5% a.a.
Investimento inicial do biodigestor	R\$ 294.600,00
Investimento inicial do motor-gerador	R\$ 113.550,00
Densidade do metano	0,67 kg m ³
Porcentagem do metano no biogás	60%

Produção de 16 h d⁻¹ – tempo de vida útil – 10 /15/20 anos

Produção media anual de biogás	265.720 m ³
Produção média anual de energia elétrica	386.608 kWh
Consumo médio anual de energia elétrica	67898 kWh
Valor pago pela concessionária de energia	R\$ 140,00 MWh
Taxa de juros	5,5% a.a.
Investimento inicial do biodigestor	R\$ 352.800,00
Investimento inicial do motor-gerador	R\$ 113.550,00
Densidade do metano	0,67 kg m ³
Porcentagem do metano no biogás	60%

Produção de 20 h d⁻¹ – tempo de vida útil – 10 /15/20 anos

Produção media anual de biogás	332.150 m ³
Produção média anual de energia elétrica	483.260 kWh
Consumo médio anual de energia elétrica	67898 kWh
Valor pago pela concessionária de energia	R\$ 140,00 MWh
Taxa de juros	5,5% a.a.
Investimento inicial do biodigestor	R\$ 441.000,00
Investimento inicial do motor-gerador	R\$ 113.550,00
Densidade do metano	0,67 kg m ³
Porcentagem do metano no biogás	60%

