

Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados
Centro de Documentação e Informação
Coordenação de Biblioteca
<http://bd.camara.gov.br>

"Dissemina os documentos digitais de interesse da atividade legislativa e da sociedade."



BIOGÁS DA SUINOCULTURA: UMA IMPORTANTE FONTE DE GERAÇÃO DE ENERGIA

Paulo César Ribeiro Lima
Consultor Legislativo da Área XII
Recursos Minerais, Hídricos e Energéticos

ESTUDO

OUTUBRO/2007



Câmara dos Deputados
Praça 3 Poderes
Consultoria Legislativa
Anexo III - Térreo
Brasília - DF



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	3
2. BIODIGESTORES	5
3. BIOGÁS	7
3.1 Benefícios energéticos	7
3.2 Benefícios ambientais	8
3.3 Estimativas de produção.....	8
4. PNMA II - PROJETO SUINOCULTURA SANTA CATARIA	11
4.1 Propriedade de Concórdia com motor/gerador conectado à rede	12
4.2 Propriedade de Braço do Norte com gerador de eletricidade independente.....	17
5. CUSTOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	20
6. CONCLUSÕES.....	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

© 2007 Câmara dos Deputados.

Todos os direitos reservados. Este trabalho poderá ser reproduzido ou transmitido na íntegra, desde que citados o autor e a Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados. São vedadas a venda, a reprodução parcial e a tradução, sem autorização prévia por escrito da Câmara dos Deputados.

Este trabalho é de inteira responsabilidade de seu autor, não representando necessariamente a opinião da Câmara dos Deputados.

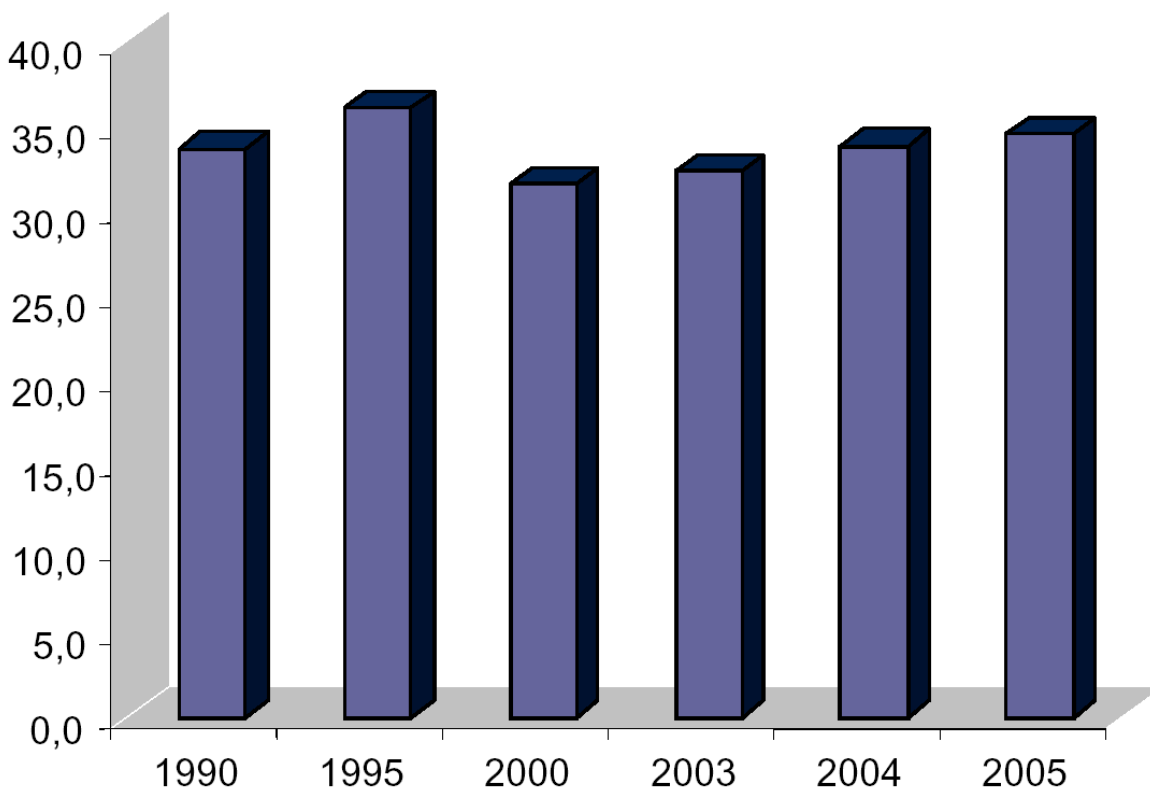
BIOGÁS DA SUINOCULTURA: UMA IMPORTANTE FONTE DE GERAÇÃO DE ENERGIA

Paulo César Ribeiro Lima

1. INTRODUÇÃO

Em 2005, o Brasil contava 34,5 milhões de cabeças de suínos (FNP, 2005). A maior parte dessa população localizava-se na Região Sul, onde viviam cerca de 16,5 milhões de animais, aproximadamente 47% da população total. A figura 1.1 mostra a evolução da população brasileira de suínos, a partir de 1990, em milhões de cabeças.

Figura 1.1 - Milhões de cabeças de suínos no Brasil.



Estima-se que a população brasileira de suínos gere dejetos suficientes para se produzir cerca de 4 milhões de m³/dia de biogás. Esse biogás poderia gerar aproximadamente 2 milhões de kwh de energia elétrica por dia, o que representa 60 milhões de kwh por mês.

Admitindo-se um consumo médio mensal de 170 kwh, a energia elétrica produzida a partir da suinocultura brasileira poderia atender mais de 350 mil residências.

A suinocultura representa uma importante atividade, com grandes benefícios sociais e econômicos, pois gera emprego e renda nas áreas rurais e urbanas.

Cerca de 81.7% dos suínos são criados em fazendas de até 100 hectares. Estima-se que existam, no país, cerca de 30 mil estabelecimentos de produção intensiva de suínos. Somente em Santa Catarina, essa atividade gera cerca de 30 mil empregos (Gosmann, 2005).

No entanto, a suinocultura tem gerado problemas ambientais. De acordo com Konzen (1983), um animal adulto produz, em média, cerca de 0,27 m³ de dejetos líquidos por mês.

Além de poder afetar a qualidade da água, a decomposição dos dejetos de suínos acaba por gerar metano, que é um gás de efeito estufa bem mais danoso que o dióxido de carbono.

A recente aprovação de projetos no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, previsto no Protocolo de Quioto, que utilizam biodigestores para produção de biogás e geração de energia elétrica, tem gerado um positivo impacto na suinocultura.

Esses projetos podem gerar renda para os fazendeiros e trazer grandes benefícios ambientais tanto para o planeta quanto para as áreas de produção.

O agravamento do efeito estufa é o mais grave problema ambiental da humanidade. Esse agravamento vem sendo causado pelo aumento da concentração atmosférica dos gases de efeito estufa. Esse agravamento está relacionado com as emissões, principalmente, de dióxido de carbono, de metano e de óxidos nitrosos.

Estimativas recentes (Martinez *et al.*, 2003 e IPCC, 2006) indicam que os dejetos de animais são responsáveis por 5 a 10% de todo o metano gerado no mundo.

O objetivo deste trabalho é demonstrar que os dejetos de suínos podem ser convertidos em metano para de geração de energia térmica e elétrica, com benefícios para os produtores, para o país e para toda a humanidade.

O metano é produzido em equipamentos chamados biodigestores que serão discutidos a seguir.

2. BIODIGESTORES

Biodigestores são estruturas hermeticamente fechadas nas quais podem ser acumuladas grandes quantidades de dejetos orgânicos que, por digestão anaeróbica, produzem biogás. O metano é o principal componente energético do biogás. Após ser purificado, esse gás pode ser utilizado para cocção, aquecimento, resfriamento e sistemas de geração de energia elétrica.

A Índia conta com aproximadamente 300 mil e a China com mais de 8 milhões. Recentemente, vários outros países do continente europeu têm realizado programas de disseminação e uso de biodigestores. No Brasil, estima-se que existam menos de 20 mil biodigestores.

Nas décadas de 70 e 80, houve grande interesse pelo biogás no Brasil, especialmente entre os suinocultores. Contudo, uma série de fatores impediu a disseminação dos biodigestores nesse período (Kunz *et al.*, 2004; Oliveira, 2003a; Oliveira, 2004a). Entre esses fatores, merecem destaque:

- a falta de conhecimento técnico sobre a construção e operação dos biodigestores;
- o custo de implantação e manutenção elevado;
- o aproveitamento do biofertilizante continuava a exigir equipamentos de distribuição na forma líquida com custo de aquisição, transporte e distribuição elevados;
- a falta de equipamentos desenvolvidos exclusivamente para o uso de biogás e a baixa durabilidade dos equipamentos adaptados para a conversão do biogás em energia;
- a ausência de condensadores para água e de filtros para os gases corrosivos gerados no processo de biodigestão;
- a disponibilidade e baixo custo da energia elétrica e do GLP;
- a não solução da questão ambiental, pois os reatores utilizados na biodigestão, por si só, não são considerados como um sistema completo de tratamento.

Décadas depois, o biogás e os biodigestores ressurgem como alternativa ao suinocultor, graças à disponibilidade de novos materiais para a construção dos biodigestores, ao aumento dos custos de energia e à questão do novo cenário mundial de mudanças climáticas.

Ressalte-se, no entanto, que os biodigestores fazem parte de um processo de tratamento dos dejetos, não devendo ser vistos como uma solução definitiva, pois eles apresentam limitações quanto à eficiência de remoção de matéria orgânica e de nutrientes.

O processo de geração do metano em biodigestores pode ocorrer em três níveis de temperatura. Com temperatura entre 45 e 60°C, o processo é considerado termofílico; de 20 a 45°C é mesofílico e a digestão anaeróbia de matéria orgânica temperaturas menores que 20°C é chamada de digestão psicrófila. A maioria dos biodigestores anaeróbios têm sido projetados na faixa mesófila.

Destaque-se que mudanças bruscas de temperatura podem afetar o desempenho da digestão adversamente (Parkin & Owen, 1986). Segundo Massé *et al.* (2003), o desempenho do biodigestor anaeróbio diminui significativamente quando a temperatura operacional cai de 20°C para 10°C. Em fazendas do sul do país, os biodigestores podem estar sujeitos a flutuações de temperatura.

Assim sendo, recomenda-se o aquecimento do substrato em digestão para aumentar a eficiência do biodigestor. Ao se utilizar sistemas de aquecimento, deve-se fazer uma análise de viabilidade econômica que deve considerar a quantidade de energia necessária e o volume adicional de gás produzido.

A idéia de que os biodigestores com grandes volumes de biomassa produzem altas quantidades de biogás nem sempre é verdadeira. O correto dimensionamento do biodigestor deve levar em consideração o tempo de residência hidráulica, a temperatura da biomassa e a carga de sólidos voláteis (Oliveira, 2005; La Farge, 1995).

Registre-se que biodigestores com grandes gasômetros podem representar um risco à segurança dos produtores, em razão da ação mecânica dos ventos. Essa ação pode provocar vazamentos de gás e ocorrência de combustão fora de controle.

Muitas vezes, os biodigestores adotados entre os produtores de suínos não passam de "simples esterqueiras cobertas", que nem sempre são adequadamente projetados.

Além disso, os dejetos tendem a ser extremamente liqüefeitos, com baixa concentração de sólidos voláteis. Isso geralmente ocorre por excesso de água em bebedores, pela entrada de água de chuva e pela lavagem inadequada das baias (Oliveira, 2005).

Registre-se, por fim, que ao passar pelo biodigestor, o efluente perde carbono na forma de CH₄ e CO₂. A diminuição na relação entre carbono e nitrogênio da matéria

orgânica melhora as condições do material para fins agrícola em função do aumento da solubilidade de alguns nutrientes.

Contudo, os custos de transporte, a topografia ondulada, o tamanho das propriedades e a ausência de mecanização podem ser obstáculos a otimização do uso de dejetos animais como biofertilizantes.

3. BIOGÁS

A digestão anaeróbia é um processo em que alguns microrganismos, na ausência de oxigênio, interagem com materiais orgânicos e produzem o biogás. O biogás contém compostos simples como o metano - CH_4 e o dióxido de carbono - CO_2 (Sanchez *et al.*, 2005).

O CH_4 , principal componente do biogás, não tem cheiro, cor ou sabor, mas outros gases presentes no biogás conferem-lhe um ligeiro odor de vinagre ou de ovo podre. Para o seu uso como combustível, deve-se estabelecer uma relação entre o biogás, com determinado teor de metano, e o ar, de modo a possibilitar uma queima eficiente.

O biogás, por ser extremamente inflamável, pode ser simplesmente queimado para reduzir o efeito estufa, pois o CH_4 apresenta um poder estufa cerca de 21 vezes maior que o CO_2 . O ideal, no entanto, é que ele seja aproveitado em sistemas de geração de energia elétrica ou térmica a partir da sua combustão.

A presença de vapor d'água, CO_2 e gases corrosivos, como o H_2S , no biogás “in natura” pode constituir-se um problema para o seu armazenamento e o seu uso na produção de energia.

Assim sendo, a remoção de água, do H_2S e de outros elementos, por meio de filtros e dispositivos de resfriamento, condensação e lavagem, é fundamental para o adequado uso do biogás.

O esforço desenvolvido pela indústria brasileira para desenvolvimento de equipamentos para o uso do biogás ainda tem sido pequeno. Mais serviços, materiais e equipamentos adequados e confiáveis precisam ser colocados à disposição dos produtores.

3.1 Benefícios energéticos

Os sistemas de produção de biogás, além de produzirem energia necessária às atividades agropecuárias onde se encontram, podem gerar um excedente energético.

Quando se opta por sistemas de co-geração, parte da energia elétrica pode ser utilizada nas próprias instalação e parte pode ser comercializada. A co-geração pode ser definida como a produção combinada de calor e eletricidade.

A energia térmica pode ser usada em sistemas de aquecimento na própria atividade agropecuária e a energia elétrica gerada pode ser usada em sistemas de iluminação ou em sistemas de refrigeração, além de poder ser exportada para a rede da concessionária.

De acordo com Costa (2005), em Portugal, a receita associada à essa exportação pode variar de 10% a 40% do valor total das receitas. Outra receita possível decorre do efluente depurado, que pode ser utilizado como fertilizante orgânico.

No caso de se queimar biogás em um motor de combustão acoplado a um gerador elétrico, o calor proveniente dos gases de escape, da água de arrefecimento e do óleo de lubrificação podem ser recuperados por meio de trocadores de calor.

3.2 Benefícios ambientais

O tratamento de efluentes de natureza orgânica pode ser feito por meio de diversos processos, sendo os sistemas de lagoas os mais comuns. Esses sistemas são uma solução de baixo custo, mas apresentam a desvantagem de ser muito exigente em termos de espaço e de tempo de retenção, normalmente superiores a 100 dias.

A aplicação de arejamento nas lagoas, para reduzir os tempos de retenção, implica grandes investimentos em equipamento e elevados consumos de energia elétrica.

A utilização de biodigestores apresenta eficiência muito maior que as lagoas convencionais. A produção de biogás nesses equipamentos, ao degradar cerca de 60% a 90% da matéria orgânica, permite uma redução significativa dos tempos de retenção e facilita a realização dos trabalhos de limpeza das lagoas.

3.3 Estimativas de produção

A produção de biogás é estimada, entre outros fatores, pela temperatura de operação do biodigestor. Nos Estados da Região Sul, a faixa de temperatura da biomassa situa-se entre 20 e 25°C; nos Estados situados no centro do país, a temperatura da biomassa situa-se acima dos 25°C podendo atingir a 32°C.

Sendo assim, pode-se considerar que as bactérias predominantes na digestão anaeróbia, que ocorre no biodigestor, são predominantemente as mesofílicas, cuja faixa de temperatura situa-se entre 20 e 45°C.

Outro fator a ser considerado, na estimativa da produção de biogás, é a diluição dos dejetos. Essa diluição pode ocorrer em razão de excesso de água utilizada na limpeza das baias, de vazamentos nas redes hidráulicas e nos bebedouros, de entrada de água da chuva nos canais de manejo dos dejetos, entre outros (Scherer *et al.*, 1996; Oliveira, 2005).

O grau de diluição dos dejetos, pode ser determinado pela observação da matéria seca ou dos sólidos totais presentes. No caso de dejetos dos suínos, os sólidos voláteis representam de 70 a 75% dos sólidos totais.

Os sólidos voláteis são os responsáveis diretos pela produção de biogás. Quanto maior for a concentração de sólidos voláteis na alimentação diária do biodigestor, maior será a produção de energia.

Segundo Scherer *et al.* (1996), o valor médio dos sólidos totais são de 30 kg/m³ em propriedades produtoras de suínos na região oeste do Estado de Santa Catarina. Esse valor varia em razão da quantidade de água.

Na tabela 3.1, pode-se observar as variações de matéria seca, nitrogênio total, fósforo (P₂O₅) e potássio (K₂O), em razão da densidade dos dejetos de suínos.

Tabela 3.1 - Teores dos dejetos de suínos.

Densidade (kg/m ³)	Matéria Seca* MS - (%)	N_NTK	P ₂ O ₅ (kg / m ³)	K ₂ O
1008	1,24	1,60	1,14	1,00
1012	2,14	2,21	1,75	1,25
1016	3,04	2,83	2,37	1,50
1020	3,93	3,44	2,99	1,75
1024	4,83	4,06	3,60	2,00
1028	5,73	4,67	4,22	2,25
1032	6,63	5,28	4,84	2,50
1040	8,42	6,51	6,07	3,00

* 1% = 10 kg/m³

Em propriedades produtoras de suínos com elevado desperdício de água e uso constante de lâmina d'água, tem-se observado que a quantidade os sólidos totais é menor que 15 kg/m³ (Oliveira, 2004b; Oliveira, 2005).

No caso da produção de suínos, a produção específica de biogás é de cerca de 0,45 metros cúbicos por quilograma de sólidos voláteis, para temperaturas da na faixa de 30 a 35°C (La Farge, 1995; Centro para a Conservação de Energia, 2000; Oliveira, 2005).

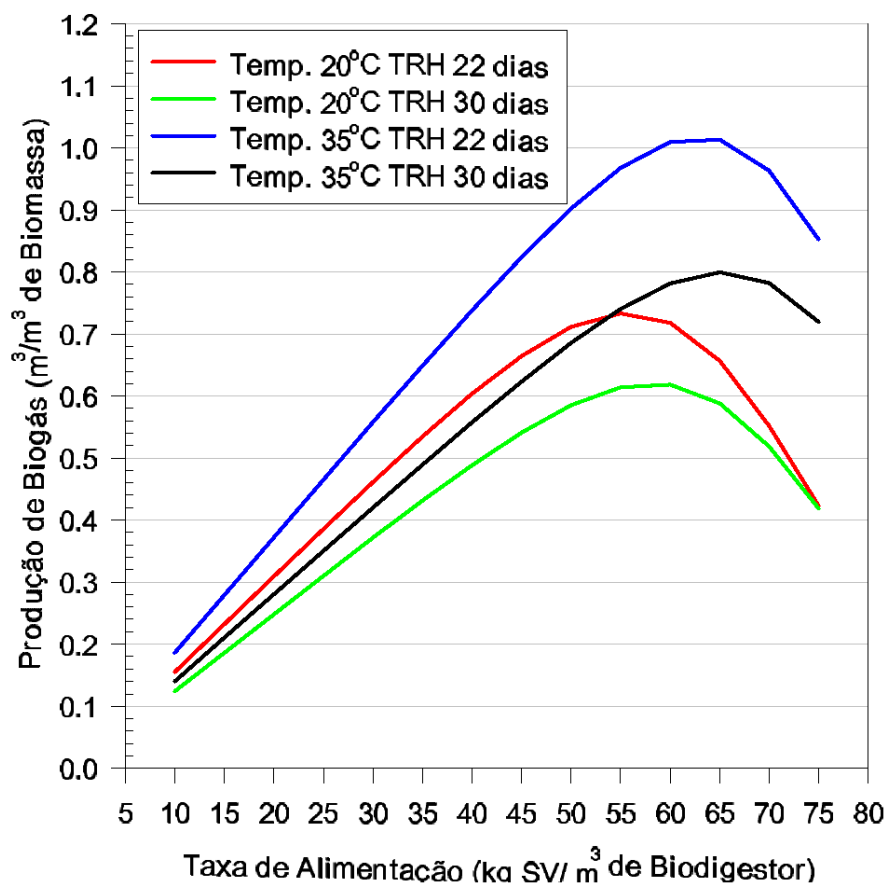
O uso do modelo matemático de Chen para estimar a produção de biogás, citado por La Farge (1995), tem sido empregado com sucesso, principalmente por causa do pequeno número de variáveis exigidas e pela facilidade de obtenção dessas variáveis.

Esse modelo gerou curvas de produção específica de biogás (Oliveira, 2005), conforme mostrado na figura 3.1, para diferentes condições do biodigestor com dejetos de suínos:

- sólidos voláteis variando de 10 a 75 kg/m³;

- tempo de retenção de 22 e 30 dias;
- temperaturas da biomassa no interior do biodigestor de 20 e 35°C.

Figura 3.1 - Produção específica de biogás



Analisando-se a figura 3.1, observa-se que o aumento da temperatura da biomassa no interior do biodigestor de 20°C para 35°C, provocou um aumento de 30% na produção de biogás, passando de 0,70 para 1 m³ para cada m³ de biomassa existente no biodigestor.

O modelo matemático de simulação, também determina os limites de alimentação diária do biodigestor, que neste caso, situa-se entre 55 e 65 kg de sólidos voláteis por metro cúbico de biomassa, temperaturas entre 20 e 35°C e tempo de retenção de 22 dias.

De acordo com a figura 3.1, pode-se afirmar que, para aumentar a produção diária de biogás em um sistema de produção de suínos, recomenda-se aumentar a carga de alimentação diária de sólidos voláteis para valores entre 55 e 65 kg por m³ de biomassa, reduzir o tempo de retenção para 22 dias e aumentar a temperatura da biomassa para 35°C (Oliveira, 2005).

Como os microorganismos produtores de CH₄ são muito sensíveis a variações de temperatura, recomenda-se o aquecimento interno ou o isolamento térmico da câmara de digestão durante os meses de inverno, principalmente nos Estados da Região Sul.

Nesses meses, ocorrem, simultaneamente, uma maior demanda por energia térmica e uma tendência de queda de produção dos volumes de biogás (Oliveira *et al.*, 2005).

Registre-se, por fim, que Møller *et al.* (2004) concluíram que a produtividade do CH₄ é mais alta em suínos do que em bovinos, e o rendimento do metano em termos de sólidos voláteis é mais elevado também em suínos.

4. PNMA II - PROJETO SUINOCULTURA SANTA CATARIA

O Programa Nacional do Meio Ambiente II - PNMA II, objeto de Acordo de Empréstimo entre o Governo Brasileiro e o Banco Mundial, está direcionado para o aperfeiçoamento do processo de gestão ambiental no País.

No âmbito desse Programa, foram implantados, com sucesso, projetos ambientais na produção de suínos. O Projeto Suinocultura Santa Catarina é um desses projetos.

Esse Projeto promoveu a instalação de dois biodigestores em propriedades produtoras de suínos, com a finalidade de implantação de unidades demonstrativas.

Foi escolhido um modelo de biodigestor de simples construção e operação, que poder ser implantado em unidades de produção de suínos de pequeno e médio porte. Os custos de implantação e manutenção estão dentro da realidade econômica dos produtores (Oliveira, 2004b).

Para a implantação dos biodigestores, foram selecionadas propriedades típicas de produção de suínos, uma localizada no município de Concórdia, na bacia hidrográfica do Lajeado dos Fragosos, e outra no Município de Município de Braço do Norte, na bacia hidrográfica do rio Coruja/Bonito.

4.1 Propriedade de Concórdia com motor/gerador conectado à rede

A propriedade de Concórdia possui uma edificação para a produção de 400 suínos nas fases de crescimento e terminação. A unidade recebeu os leitões com peso médio inicial de 23 kg e entregou os animais para uma agroindústria com peso médio de 110 kg.

Essa edificação conta com piso compacto e com canais para o manejo dos dejetos do lado externo. Os dejetos são raspados diariamente dentro das baias e transferidos para os canais externos.

A propriedade possui um biodigestor com volume da câmara de digestão para 100 m³ de biomassa, conforme mostrado na figura 3.2.

Nesse biodigestor, a câmara de biomassa foi escavada no solo e revestida com vinimanta de PVC de cor negra, com espessura de 0,8 mm. O depósito de biogás também é coberto com vinimanta de PVC de cor negra, com espessura de 1 mm.

Figura 3.2 - Biodigestor de 100 m³ de biomassa.



Na figura 3.3 pode-se observar a vista da propriedade com a antiga esterqueira antes da instalação do biodigestor.

Figura 3.3 - Vista da propriedade com a antiga esterqueira.



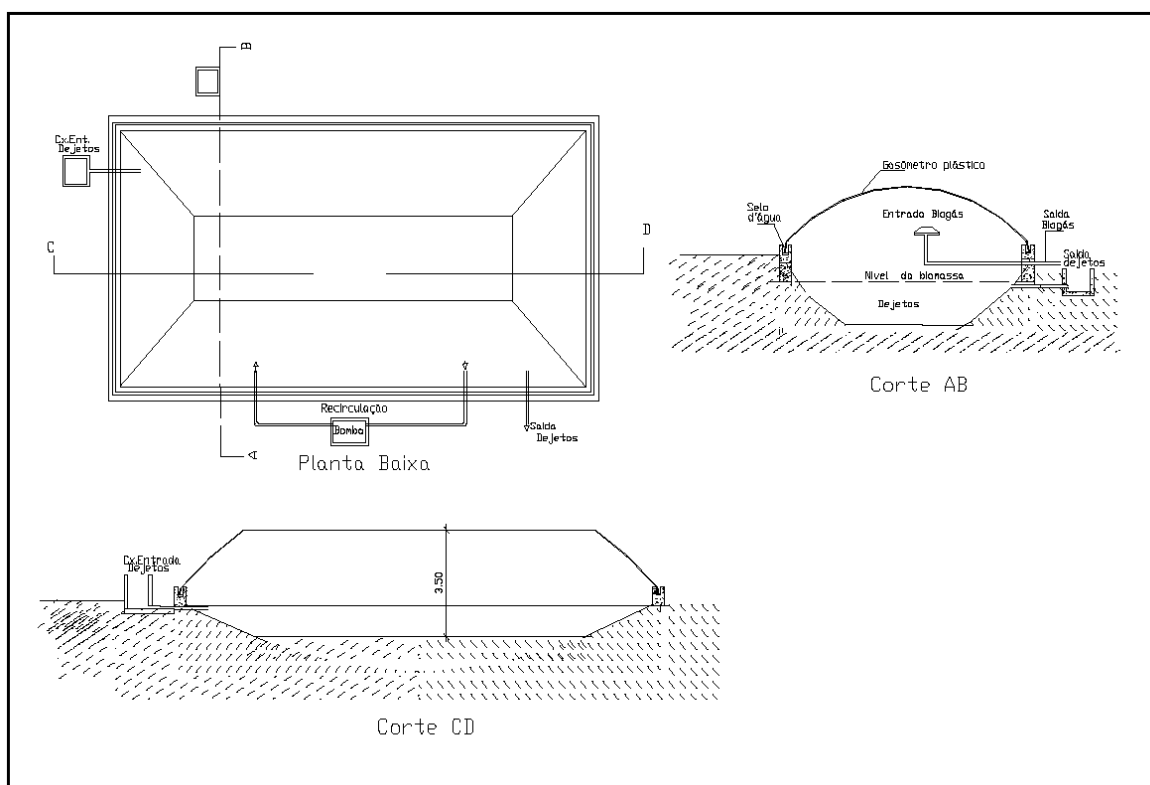
O biodigestor foi projetado para um tempo de retenção de 30 dias, sendo alimentado diariamente com 2,45 m³ de dejetos. O biogás gerado é usado como fonte de energia térmica para o aquecimento do ambiente interno de um aviário para a produção de frango de corte.

No biodigestor, foi instalado um medidor para avaliação da produção de biogás. Semanalmente, eram coletadas 3 amostra de dejetos na entrada e na saída do biodigestor para análise de sólidos totais, sólidos voláteis, pH, relação N-NH₃, fósforo total, nitrogênio total, demanda química de oxigênio e densidade dos dejetos. Mediu-se também a temperatura da biomassa no interior da câmara de digestão.

Para estimar a produção de biogás, utilizou-se o modelo de Chen, descrito em (La Farge, 1995). Os resultados desse modelo foram comparados os com a produção de biogás observada.

Na figura 3.4 pode-se observar uma planta e corte esquemático do biodigestor revestido e coberto com vinimanta de PVC.

Figura 3.4 - Planta e corte esquemático de biodigestor.



A figura 3.5 mostra a vista do biodigestor e sistema de filtragem, medição de volume e compressor para biogás.

Figura 3.5 - Vista do biodigestor, medidor e compressor.



No período observado, a média e o desvio padrão das medições semanais da densidade, em kg/m^3 , dos dejetos de suínos na entrada do biodigestor foi de $1.042,15 \pm 15,38$, com sólidos totais de $84 \text{ Kg}/\text{m}^3$. Na saída os valores foram de $1.010,32 \pm 2,24$, com sólidos totais de $16,9 \text{ kg}/\text{m}^3$.

A densidade média observada na entrada do biodigestor pode ser considerada elevada quando comparada com os valores médios observados em 80 propriedades produtoras de suínos do Oeste Catarinense (Scherer *et al.*, 1996; Oliveira, 2005).

Essa densidade foi obtida em razão de um manejo adequado dos dejetos, com raspagem a seco e limpeza somente na saída dos animais e uso de novos bebedouros com o mínimo desperdício de água.

A temperatura da biomassa observada no biodigestor situou-se entre 20 e 23°C. O efeito da temperatura sobre a digestão anaeróbia foi avaliado por diferentes pesquisadores, onde a porcentagem de CH_4 manteve-se praticamente constante em 69%, mas a produção de biogás por kg de sólidos totais aumenta com temperaturas na faixa de 25 a 44°C (Centro para a Conservação de Energia, 2000; La Farge, 1995).

A média e o desvio padrão da concentração observados na entrada do biodigestor, em gramas por litro, foram de $75,12 \pm 6,7$ para os sólidos totais e de $56,31 \pm 18,8$ para os sólidos voláteis. Esses resultados estão de acordo com os recomendados por Centro para a Conservação de Energia (2000) para a produção de biogás.

A produção média de biogás observada no mês de julho, em m³/dia, foi de 52 ± 10 . O uso do modelo de Chen para estimar a produção de biogás, citado por (La Farge, 1995), foi empregado com sucesso.

A mínima produção de biogás registrada foi de 40 m³/dia, no mês de agosto, e a máxima de 60 m³/dia, no mês de dezembro. Usando-se o coeficiente de 0,45 m³ de biogás por quilograma de sólidos voláteis e multiplicando-se pela carga de alimentação do biodigestor, que é o produto da concentração de sólidos voláteis de 53,1 gramas/litro pela vazão de dejetos de 2,45 m³ (50 suínos x 7 litros), obtém-se uma produção estimada de biogás de 58,54 m³/dia, o que corresponde a produção de biogás observada.

A seguir, apresenta-se a utilização do biogás para geração de energia elétrica, onde o equipamento está conectado à rede.

O sistema é composto de um grupo gerador com um motor 1800 CC, movido a biogás e refrigerado por trocador de calor a água, com rotação de 3.600 RPM, controlado por regulador eletrônico micro processado acoplado a um economizador assíncrono com potência de 30 kW, trifásico, sem escovas, dois pólos, 220 V, 60 Hz, com capacidade para produzir 25 kVA de potencia elétrica, conforme mostrado na figura 3.6.

Figura 3.6 - Grupo economizador/gerador de energia elétrica.



O sistema foi adaptado para funcionar a biogás, sendo que o modelo difere dos demais apenas pelo acréscimo de um filtro para reter o ácido sulfúrico e o excesso de água presente no combustível.

O motor fornece energia mecânica para o gerador que está acoplado a ele. Esse gerador transforma a energia mecânica em energia elétrica.

A vantagem do gerador em sincronismo com a rede está no fato de que, para o mesmo produzir energia, a rede deve estar energizada e a energia é produzida na mesma frequência, o que permite ser disponibilizada na rede da concessionária local sem prejuízo técnico para o sistema.

O controle de entrada e saída de energia pode ser feito pelo medidor da concessionária, sendo que quando o circuito secundário recebe energia ele registra o consumo. Quando a rede secundária fornece energia, o medidor marca a saída da energia girando em sentido contrário, isso acontece para o caso de medidores do tipo eletromecânico (Zago, 2003).

Portanto, o produtor que dispuser desta tecnologia pode produzir a energia necessária para seu consumo e também fornecer energia para a concessionária.

A concessionária pode se beneficiar, desde que ficasse acordado que o agricultor coloque o sistema em operação nos horários desejados, como nos de pico.

Em alguns países da comunidade europeia e também na Austrália existe legislação específica para a produção de energia de fonte alternativa. Na Austrália, por exemplo, as concessionárias de energia elétrica devem fornecer, no mínimo, 2% de energia de fonte alternativa. Isso faz com o valor de mercado para este tipo de energia seja melhor remunerado (Zago, 2003).

Deve-se salientar que o rendimento quando existe transformação da energia contida no biogás em energia elétrica gira em torno de 25%, contra 65% quando transformada em energia térmica.

Estudo desenvolvido por Zago (2003), para avaliar o potencial de produção de energia a partir do biogás região do meio oeste catarinense, concluiu que o consumo médio de energia nas propriedades é de 600 a 1.800 kWh/mês. Uma produção média de 50 m³/dia de biogás pode gerar 2.160 kWh/mês.

4.2 Propriedade de Braço do Norte com gerador de eletricidade independente

No âmbito do Projeto Suinocultura Santa Catarina, foi selecionado um produtor de suínos para a implantação do sistema de produção de biogás com co-geração de energia elétrica e calor no Município de Braço do Norte, na bacia hidrográfica do rio Coruja/Bonito.

Essa propriedade é uma unidade de produção de leitões, com 200 matrizes, com volume diário de dejetos estimado em 12 m³. A propriedade também possui uma pequena fábrica para a produção de rações.

Para um melhor aproveitamento dos dejetos para a geração de biogás, recomendou-se a utilização da mínima quantidade de água possível para limpeza das baias, com raspagem periódica dos dejetos acumulados no piso compacto.

Além de poupar água, foram geradas baixas vazões diárias de dejetos, com concentração estimada de sólidos totais de 40 a 60 kg/m³.

Os dejetos gerados pelos suínos são conduzidos em tubos de PVC com diâmetro mínimo 150 mm para uma caixa de homogeneização de fluxo, obtendo-se um tempo de residência estimado de 35 dias.

O biodigestor foi revestido internamente com vinimanta de PVC 800 micras e o reservatório de gás foi revestido com cobertura de vinimanta de PVC 1000 micras.

O biogás gerado no biodigestor é transportado por meio de tubulação rígida de PVC com 50 mm de diâmetro, contendo um ou mais pontos de purga de água, para remoção de umidade, até a edificação onde foi instalado o conjunto gerador de eletricidade.

O vapor d'água, que normalmente se desenvolve no processo de digestão anaeróbia, condensa-se na rede de transporte do biogás e no filtro.

Na rede de distribuição do biogás, entre o biodigestor e o conjunto gerador de eletricidade, é instalado o sistema de filtro, com limalha de ferro no seu interior, para a remoção de H₂S.

A seguir, apresenta-se a utilização do biogás para geração de energia elétrica, onde o equipamento não está conectado à rede.

Foi instalado um conjunto gerador de eletricidade trifásico, 220/380 VAC, 3.600 RPM, 60 hz, com capacidade nominal de geração de 50KVA (44 KVA contínuo), controle de rotação eletrônico do tipo isócrona com controle por sensor eletromagnético e proteção contra sub e sobrevelocidade.

O gerador foi acoplado a um motor de 2000 CC, de 4 cilindros, adaptado para uso com biogás e refrigerado por trocador de calor com aproveitamento da água de refrigeração do motor para geração de água quente.

A propriedade possui uma pequena fábrica de rações que possui triturador e misturador de rações. Possui ainda uma bomba para lavagem das instalações, bomba d'água, bomba para ordenha, bomba para transporte de dejetos. A potência total instalada é de 26,1 KW.

Na unidade de maternidade, o aquecimento dos leitões é feito por 30 lâmpadas de 100 W cada uma. Na creche, o aquecimento das baias é feito por 25 lâmpadas elétricas de 100 W.

A figura 3.7 mostra o modelo do conjunto motor/gerador de 50 KVA, que foi instalado para co-geração de energia elétrica e calor.

Figura 3.7 - Conjunto motor/gerador não conectado à rede.



A figura 3.8 mostra o biodigestor de 300m³ de biomassa implantado na propriedade, com geração estimada de 150 m³ de biogás por dia, além do conjunto motor/gerador de energia elétrica.

Fig. 3.8 - Conjunto motor/gerador e biodigestor.



O biodigestor implantado na propriedade para a geração de energia elétrica está em funcionamento desde 2005, gerando energia elétrica para a propriedade e a fábrica de ração existente.

O monitoramento da geração de energia elétrica para avaliação técnica do sistema, demonstrou que a eletricidade gerada alimenta a rede de distribuição em baixa tensão 220/380 VAC.

O consumo de biogás pelo motor do gerador de eletricidade foi em média de 22 m³/hora, sendo que o sistema trabalha entre 4 a 6 horas diárias. A temperatura da água de refrigeração do motor chega a 75°C, sendo depositada em uma caixa fibra de vidro com capacidade de 1.000 litros.

Essa água é aproveitada na limpeza das baias dos animais, facilitando a limpeza e higienização das edificações para a produção de suínos.

Demonstrou-se, nessa instalação no Município de Braço do Norte, a possibilidade de utilização do biogás para a geração de energia elétrica em granja de produção de suínos, para alimentação dos motores elétricos de uma fábrica de ração e a alimentação elétrica de lâmpadas usadas no aquecimento ambiental de leitões, nas salas de maternidade e creche.

5. CUSTOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Na análise dos custos de geração de energia elétrica, admitiu-se um poder calorífico inferior do biogás de 6,5 kWh/m³ e uma eficiência de conversão do biogás em energia elétrica com grupos geradores com motores ciclo otto de 25% (CCE, 2000).

De acordo com Souza *et al.* (2004), o custo de produção da eletricidade com aproveitamento do biogás deve considerar o investimento, a manutenção e a operação do biodigestor e do conjunto motor/gerador. O biodigestor representa cerca de R\$200,00 por suíno e o conjunto motor/gerador R\$440,00/kW. O custo de operação e manutenção foi de 4% do custo de investimento.

Admite-se que o conjunto motor/gerador pode operar durante 10 horas diárias ou no horário de ponta, durante 4 horas por dia. Quanto menor for o tempo de operação, maior o custo de geração de energia elétrica, aumentando, com isso, o tempo de retorno do investimento.

Souza *et al.* (2004) utilizaram uma taxa de desconto de 8%. Os gastos com operação e manutenção durante o ano representaram cerca de 4% do investimento total. Por meio da tarifa de energia paga pela propriedade, obteve-se o tempo de retorno do investimento.

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

Em uma propriedade típica contendo um aviário, pocilga, fábrica de ração e residências, a carga utilizada é de aproximadamente 39 kW, distribuídos conforme a tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Distribuição da carga elétrica

Setor da Propriedade	Potencia Elétrica Instalada em kW	Percentual da Carga na Propriedade %
Aviário	8,83	22,0
Ração	18,4	47,0
Suínos	2,3	6,0
Residências	9,8	25,0

Nesse caso, seria necessária a instalação de um conjunto motor/gerador de 40 kW, o qual teria a necessidade de 258 matrizes para uma produção de 200 m³/dia de biogás operando a 10 horas por dia. Caso a operação da planta fosse somente no horário de ponta por 4 horas, seriam necessárias 103 matrizes.

Os custos do biogás e a geração de eletricidade para diferentes tempos de amortização e operação do sistema na base (10 horas) e na ponta (4 horas) são mostrados na tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Custos de geração de energia elétrica

Tempo de amortização (anos)	Custo do biogás (R\$/m³)	Custo da Eletricidade (R\$/MWh), 4 horas de operação	Custo da Eletricidade (R\$/MWh), 10 horas de operação
5	0,21	190	138
10	0,13	124	90
15	0,11	103	74
20	0,10	93	67

A utilização do sistema somente na ponta para consumo próprio poderia ser justificada se houvesse uma tarifa diferenciada a ser paga pelo produtor rural, mas isso não ocorre.

Para o sistema conectado à rede da concessionária, seria vantajosa a geração no horário de ponta, pois aliviaria o sistema interligado, contribuindo para uma redução dos custos de atendimento do pico de demanda.

Conforme mostrado na tabela 5.3, o custo da energia elétrica varia de R\$93 a R\$190 por MWh, para 4 horas de operação, em razão do tempo de amortização do investimento. Esses valores são compatíveis com os custos atuais de geração de energia elétrica, ainda mais se forem considerados créditos de carbono, conforme demonstrado a seguir, e que a energia é fornecida no período de maior demanda.

Tabela 5.3 - Custo da energia elétrica

Tempo de amortização (anos)	Custo do biogás (R\$/m³)	Custo da Eletricidade (R\$/MWh), 4 horas de operação	Custo da Eletricidade (R\$/MWh), 10 horas de operação
5	0,21	190	138
10	0,13	124	90
15	0,11	103	74
20	0,10	93	67

Admitindo-se que um suíno produz 5,8 kg de efluentes por dia, a população brasileira de suínos, de 34,5 milhões de porcos, pode produzir 73 milhões de toneladas de dejetos por ano.

Se fosse utilizado um adequado sistema de manejo desses dejetos, o país poderia promover a redução de, pelo menos, 11 milhões de toneladas equivalentes de CO₂ por ano, que é equivalente a 3 milhões de toneladas de carbono equivalente (50% do valor teórico de redução).

A partir do trabalho de Gosmann (2005), estima-se que essa redução poderia gerar uma receita de créditos de carbono de R\$ 30 milhões por ano. Como a população brasileira de suínos pode proporcionar aproximadamente 730 mil MWh de energia elétrica por ano, haveria uma receita adicional de créditos de carbono de cerca de R\$41,00/MWh.

Dessa forma, o custo de geração de energia elétrica apresentado na tabela 5.3 poderia ser reduzido para uma faixa de R\$52,00 a R\$149,00 por MWh, sem computar os custos de obtenção dos créditos de carbono. Esses custos são extremamente competitivos.

Propõe-se, então, que seja criado um programa nacional de produção de energia elétrica a partir da suinocultura. Um programa semelhante, mas mais abrangente, para geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis foi criado pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002.

Esse programa, denominado Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - Proinfa, pode servir de modelo para a criação de programas específicos para as diversas fontes, como, por exemplo, o de biogás da suinocultura.

6. CONCLUSÕES

Em 2005, o Brasil contava com 34,5 milhões de cabeças de suínos. A maior parte dessa população localizava-se na Região Sul, onde viviam cerca de 16,5 milhões de animais, aproximadamente 47% da população total.

Estima-se que a população brasileira de suínos gere dejetos suficientes para se produzir cerca de 4 milhões de m³/dia de biogás. Admitindo-se um consumo médio mensal de 170 kwh, a energia elétrica produzida a partir da suinocultura brasileira poderia atender mais de 350 mil residências.

Programa Nacional do Meio Ambiente II - PNMA II, objeto de Acordo de Empréstimo entre o Governo Brasileiro e o Banco Mundial, foram implantados projetos ambientais na produção de suínos.

Um desses projetos, o Projeto Suinocultura Santa Catarina, promoveu a instalação, com sucesso, de dois biodigestores em propriedades produtoras de suínos, com a finalidade de implantação de unidades demonstrativas de geração de calor e eletricidade a partir do biogás.

Ressalte-se que o manejo dos dejetos na unidade produtora de suínos deve buscar a concentração adequada de matéria orgânica, evitar o excesso de diluição com água da carga do biodigestor e manter a temperatura sob controle, de modo a produzir-se biogás com eficiência.

A biodigestão é muito sensível a variações de temperatura. O aquecimento da biomassa ou isolamento térmico da câmara de digestão, principalmente nos Estados da Região Sul do Brasil, pode ser necessária nos meses de inverno.

O biodigestor embora remova a matéria orgânica e parte dos nutrientes, não deve ser visto como um sistema definitivo de tratamento anaeróbico dos dejetos de suínos e sim como parte de um processo de tratamento. Seu efluente pode ser utilizado como fertilizante orgânico após passar por tratamento final.

O custo de geração de energia elétrica a partir da suinocultura, utilizando-se créditos de carbono de R\$41,00/MWh, pode ser reduzido para uma faixa de R\$52,00 a R\$149,00 por MWh, sem computar os custos de obtenção desses créditos. Esses custos são extremamente competitivos.

Propõe-se, então, que seja criado um Programa Nacional de Produção de Energia Elétrica a partir da Suinocultura. Um programa semelhante, mas mais abrangente, para geração de energia elétrica a partir de fontes alternativas foi criado pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002.

Esse programa, denominado Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - Proinfra, pode servir de modelo para a criação de programas específicos para as diversas fontes, como, por exemplo, o de biogás da suinocultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CCE - CENTRO PARA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA. **Guia Técnico do Biogás**. JE92 Projectos de Marketing Ltda, 2000. Accepted on December 22, 2004.

CENTRO PARA A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA. **Guia técnico de biogás**. Agência para a Energia, 2000.

COSTA, M. **BIOMASSA Características e Utilização**. Instituto Superior Técnico de Portugal, 2005.

LA FARGE, B. **Le biogaz: procédés de fermentation méthanique**. Paris: Masson, 1995.

FNP **Anualpec - Anuário da pecuária brasileira**. 2005.

GOSMANN, H. **1º Seminário Catarinense de Mercado de Crédito de Carbono**. Florianópolis, SC, Brasil, 2005.

KONZEN, E. A. **Manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, EMBRAPA-CNPSA. Circular Técnica, 6, 1983.

KUNZ, A.; PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V. **Biodigestores: avanços e retrocessos.** Suinocultura Industrial, v.26, n.4, 2004.

MASSÉ, D. I., MASSE, L. ; CROTEAU, F. **The effect of temperature fluctuations on psychrophilic anaerobic sequencing batch reactors treating swine manure.** Bioresource Technology, v.89, 2003.

MØLLER, H. B.; SOMMER, S. G.; AHRING, B. K. **Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure.** Biomass and Bioenergy, v.26, 2004.

OLIVEIRA, P. A. V. **Impacto ambiental causado pela suinocultura.** In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ZOOTECNIA, 2003.

OLIVEIRA, P. A. V. **Produção e aproveitamento do biogás.** In: Tecnologia para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas praticas. Embrapa Suínos e Aves, 2004a.

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

OLIVEIRA, P. A. V. **Projeto de biodigestores e estimativa de produção de biogás em sistema de produção.** Embrapa Suínos e Aves, 2005.

PARKIN, G. F.; OWEN, W. F. **Fundamentals of anaerobic digestion of wastewater sludges.** Journal of Environmental Engineering, v.112, n.5, 1986.

PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V. de; KUNZ, A. **Sistemas de tratamento de dejetos suínos: inventário tecnológico.** Embrapa Suínos e Aves, 2003.

SANCHEZ, E.; BORJA, R.; TRAVIESO, L.; MARTIN, A.; COLMENAREJO, M. F. **Effect of organic loading rate on the stability, operational parameters and performance of a secondary upflow anaerobic sludge bed reactor treating piggery waste.** Bioresource Technology, v.96, 2005.

SCHERER, E. E.; AITA, C.; BALDISSERA, I. T. **Avaliação da qualidade do esterco líquido de suínos da região Oeste Catarinense para fins de utilização como fertilizante.** EPAGRI, 1996.



SOUZA, S. N.; PEREIRA, W. C.; NOGUEIRA, C. E. C., PAVAN, A. A. e SORDI, A. **Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura.** Acta Scientiarum. Technology Maringá, v. 26, no. 2, 2004.

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.** Dissertação de Mestrado - Universidade Regional de Blumenau, 2003.