



PROJETO DE CONTROLE DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DECORRENTE DA SUINOCULTURA EM SANTA CATARINA

GERAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE BIOGÁS EM UNIDADES DE PRODUÇÃO DE SUÍNOS



República Federativa do Brasil

Presidente: Luiz Inácio Lula da Silva

Vice-Presidente: José Alencar Gomes da Silva

Ministério do Meio Ambiente

Ministra: Marina Silva

Secretário-Executivo: Cláudio Langone

Diretor de Articulação Institucional: Volney Zanardi Júnior

Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável do Estado de Santa Catarina

Secretário de Estado: Sérgio de Souza Silva

Fundação do Meio Ambiente - FATMA/SC

Presidente: Jânio Wagner Constante

Embrapa Suínos e Aves

Chefe-Geral: Elsie Antonio Pereira de Figueiredo

Chefe-Adjunto de Comunicação e Negócios: Claudio Bellaver

Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento: Terezinha Marisa Bertol

Chefe-Adjunto de Administração: Dirceu Benelli

Programa Nacional do Meio Ambiente II – PNMA II**Coordenação Geral do Programa Nacional do Meio Ambiente II – PNMA II**

Coordenadora Geral: Lorene Bastos Lage

Componente Gestão Integrada de Ativos Ambientais

Coordenadora: Adriana M. Magalhães de Moura

Coordenação Estadual do Programa Nacional do Meio Ambiente II – PNMA II

Coordenador: Luiz Antônio Garcia Corrêa

Coordenação Estadual do Componente Gestão Integrada de Ativos Ambientais - PNMAII

Cinthya Mônica da Silva Zanuzzi: Fundação do Meio Ambiente – FATMA/SC

Coordenador Técnico do Projeto Suinocultura Santa Catarina

Paulo Armando Victória de Oliveira: Embrapa Suínos e Aves

Agradecimentos especiais:

Regina Gualda: Coordenadora Geral do PNMAII de 2000 a 2005.

Maricy Marino: Coordenadora do Componente Gestão Integrada de Ativos Ambientais do PNMAII de 2000 a 2003.

Darci Oliveira de Souza: (Coordenadora do Componente Gestão Integrada de Ativos Ambientais do PNMA II – 2002 a 2004).

Adroaldo Pagani da Silva: Coordenador Operacional do Projeto Suinocultura Santa Catarina (2002-2004).

Alexandre Ferrazolli Camargo: Técnico Responsável pelo Projeto no estado de Santa Catarina.



PROJETO DE CONTROLE DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DECORRENTE DA
SUINOCULTURA EM SANTA CATARINA

Documentos 115

**GERAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE BIOGÁS EM
UNIDADES DE PRODUÇÃO DE SUÍNOS**

**Paulo Armando Victória de Oliveira
Martha Mayumi Higarashi**

Ministério do Meio Ambiente
Secretaria Executiva
Programa Nacional do Meio Ambiente II – PNMA II

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Suínos e Aves

Caixa Postal 21

89.700-000, Concórdia, SC

Telefone: (049) 3441 0400

Fax: (049) 3442 8559

<http://www.cnpsa.embrapa.br>

Revisão Técnica: *Cícero J. Monticelli, Cláudio Miranda, Carlos C. Perdomo*

Coordenação Editorial: *Tânia Maria Biavatti Celant*

Editoração Eletrônica: *Simone Colombo*

Normalização Bibliográfica: *Irene Z. Pacheco Camera*

Fotos: *Paulo Armando Victória de Oliveira*

1ª edição

1ª impressão: 2006 - **Tiragem:** 1.000 unidades

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Oliveira, Paulo Armando Victória de

Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos. / Paulo Armando Victória de Oliveira, Martha Mayumi Higarashi. – Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006.

42p.; 29cm. – (Documentos/Embrapa Suínos e Aves, ISSN 0101-6245; 115)

Projeto de Controle da Degradação Ambiental Decorrente da Suinocultura em Santa Catarina; Programa Nacional do Meio Ambiente II – PNMA II do Ministério do Meio Ambiente.

1. Biogás. 2. Geração de energia. I. Higarashi, Martha Mayumi. II. Título. III. Série.

CDD 333.79

© Embrapa 2006

INSTITUIÇÕES PARTICIPANTES PROJETO SUINOCULTURA SANTA CATARINA

Unidade de Coordenação Estadual PNMA II

Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável – SDS

Unidade de Coordenação Estadual do Componente Gestão Integrada de Ativos Ambientais

Fundação do Meio Ambiente – FATMA

Unidade Executora – Técnica e Financeira

Embrapa Suínos e Aves (2002 – novembro de 2005)

Fundação do Meio Ambiente – FATMA (Dezembro de 2005 2006)

Unidades Co-Executoras

Fundação do Meio Ambiente – FATMA

Secretaria de Estado da Agricultura e Política Rural – SAR

Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de SC – EPAGRI

Parceiros

Associações

Associação Catarinense dos Criadores de Bovinos de Santa Catarina – ACCB/SUL

Associação Catarinense dos Criadores de Suínos de Santa Catarina – ACCS/SUL

Instituições de Ensino

Colégio Espaço Ltda

Escola Agrotécnica Federal de Concórdia – EAFC

Universidade do Contestado – UnC

Universidade do Oeste de Santa Catarina – UNOESC

Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Agroindústrias

Cooperativa de Produção e Consumo Concórdia Ltda-Copérdia

Sadia S.A.

Prefeituras

Prefeitura Municipal de Concórdia através da Fundação Municipal de Defesa do Meio Ambiente – FUNDEMA

Prefeitura Municipal de Braço do Norte – PMBN

Sindicatos

Sindicato Rural de Braço do Norte – SRBN

Sindicato dos Trabalhadores Rurais de Braço do Norte SC – STRBN

Outras

Grupo Ecológico Ativista Sul Catarinense – GEASC

Gerência Regional de Educação de Braço do Norte SC – 20ª GEREI

Centro Integrado de Ciências da Região Sul de Santa Catarina – CINCRESC

AUTORES

Paulo Armando Victória de Oliveira

Eng. Agrícola, Dr.

Pesquisador da Embrapa Suínos e Aves

BR 153, km 110, Caixa postal 21, CEP: 89.700.000

Concórdia – SC

paolive@cnpsa.embrapa.br

Martha Mayumi Higarashi

Química, Dr^a

Pesquisadora Embrapa Suínos e Aves

BR 153, km 110, Caixa postal 21, CEP: 89.700.000

Concórdia – SC

martha@cnpsa.embrapa.br

Agradecimento

Os autores agradecem ao Ministério do Meio Ambiente-MMA e ao Banco Mundial (BIRD), pelo financiamento desta publicação e pela implantação do Projeto Suinocultura Santa Catarina, integrante do Componente Gestão Integrada de Ativos Ambientais do Programa Nacional de Meio Ambiente II – PNMA II, que viabilizou a implantação de diferentes tecnologias como unidades demonstrativas da produção de biogás, como alternativas para a geração de energia e minimização das questões ambientais.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	O BIODIGESTOR	11
3	O BIOGÁS	14
4	REVISÃO: UTILIZAÇÃO DE BIODIGESTOR E BIOGÁS NO MANEJO/ TRATAMENTO DE RESÍDUOS ANIMAIS.....	16
5	ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS	18
6	EXPERIÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE BIODIGESTOR PARA A PRODUÇÃO DE BIOGÁS	20
6.1	Uso do biodigestor para geração do biogás e de energia	21
6.1.1	Resultados observados	23
6.1.2	Geração de biogás	23
6.1.3	Utilização do biogás no aquecimento ambiental de aviário	25
6.1.4	Biodigestor como unidade de tratamento dos dejetos de suínos	27
6.2	Utilização do biogás no aquecimento ambiental de creche para a produção de leitões	29
6.3	Uso do biogás para a produção de energia elétrica	31
6.3.1	Experiência do projeto na utilização de biogás para cogeração de energia elétrica/calor.....	34
7	CONCLUSÕES GERAIS	36
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1 INTRODUÇÃO

A mudança global do clima é um dos mais graves problemas ambientais deste século, sendo que, neste período, registrou-se um aumento de cerca de 1^oC na temperatura média da Terra. Este problema vem sendo causado pela intensificação da emissão dos gases de efeito estufa (GEE), que, por sua vez, está relacionada ao aumento da concentração atmosférica de determinados gases, principalmente o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O).

O gás metano é muito mais efetivo que o CO₂ na absorção da radiação solar na superfície da terra. A concentração global deste gás tem aumentado a uma taxa de 1% ao ano, sendo que 80% deste tem origem biogênica, produzido por bactérias metanogênicas em condições de anaerobiose (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006).

A contribuição dos gases no efeito estufa depende basicamente de dois fatores: sua concentração na atmosfera e seu poder de aquecimento molecular. O poder de aquecimento das moléculas destes gases varia e pode ser mensurado de acordo com um referencial. O elemento utilizado como referência é o CO₂, por ser o gás de efeito estufa mais abundante na atmosfera e de maior contribuição no aquecimento global (GASA-FCT, 2000; Lima, et al., 2001; Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006).

O CO₂ possui uma contribuição relativa de 55%, o CH₄ de 15% e o N₂O de 4%, porém a emissão destes gases deve ser fortemente reduzida (Guyot, 1997; Institut Technique du Porc, 2000; Oliveira & Otsubo, 2002).

Segundo a Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA), estima-se que cerca de 14% da emissão global de gás metano tenha origem em atividades relacionadas à produção animal (USEPA, 1994) e estimativas mais recentes indicam que o CH₄ gerado pelos dejetos corresponde em torno de 5 a 10% do total de CH₄ gerado globalmente, segundo Martinez, et al., (2003) e Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006.

As instalações rurais e o resíduo espalhado são fontes de emissão de uma expressiva quantidade de gases, sobretudo o CO₂, CH₄ e N₂O (Kermarrec, et al., 1998; Lima, et al., 2001; Oliveira, et al., 2003; Paillat, et al., 2005). Esses três gases, normalmente são formados pela decomposição dos componentes dos dejetos, entretanto as proporções se modificam de acordo com o manejo aplicado (Zahn, et al., 2001).

A Comissão Européia elaborou um documento no início de 2001, o qual, teve como base, discussões preliminares com relação ao tratamento biológico de resíduos e critérios para regulamentos futuros. Os objetivos do documento eram: promover o tratamento biológico dos resíduos orgânicos para prevenir ou reduzir o impacto ambiental; proteger o solo e assegurar um melhoramento ecológico; assegurar a saúde das plantas, animais e da humanidade; assegurar o funcionamento do sistema evitando obstáculos (Institut Technique du Porc, 2000; Bonazzi, 2001).

Assim, o grande desafio das regiões com alta concentração de animais é a exigência da sustentabilidade ambiental, energética e a redução da emissão dos GEE. De um lado, existe a pressão pela concentração de animais em pequenas áreas de produção e pelo aumento da produtividade e, do outro, que esse aumento não afete o meio ambiente.

O rebanho médio de suínos em Santa Catarina é de 4,8 milhões; sendo considerado o Estado brasileiro de maior concentração de suínos e concentrando 79% do seu efetivo total no Oeste Catarinense. No Estado, 8,3 mil produtores de suínos controlam 90,87% do efetivo total de animais, possuindo um rebanho de, no mínimo, 100 animais em produção comercial, com grande potencial para a geração de biogás. Entretanto, essa região não maneja de forma adequada os resíduos da suinocultura, possuindo um passivo ambiental que representa um grande risco de contaminação (Embrapa Suínos e Aves, 2003; Instituto CEPA, 2005).

A suinocultura é considerada uma atividade de potencial altamente poluente ao meio ambiente, sendo que o maior destaque tem sido dado a contaminação d'água e do solo, decorrentes do manejo inadequado de seus resíduos, ficando a poluição atmosférica, provocada pelos gases gerados, principalmente os Gases de Efeito Estufa (GEE), relegada a um segundo plano, muito embora os sistemas de produção e manejo de dejetos de suínos sejam fontes de emissão de uma expressiva quantidade de gases. No Brasil, não existem dados confiáveis sobre a emissão dos GEE em sistemas de tratamento de dejetos de suínos e aves e principalmente os gases oriundos da queima do Biogás, no interior dos sistemas de produção destes animais (Lima, et al. 2001).

A digestão anaeróbia do resíduo animal resulta na produção de biogás, composto basicamente de metano (CH_4 -50 a 70%) e dióxido de carbono (CO_2 -30%). O metano gerado nos biodigestores pode ser aproveitado como fonte de energia térmica ou elétrica e usada em substituição aos combustíveis fósseis (GLP) ou à lenha, tendo como vantagem, ser uma fonte de energia renovável. Além dos aspectos ambientais; redução na emissão de gases de efeito estufa, a produção de biogás pode agregar valor a produção, tornando-a auto sustentável economicamente, por meio da geração de energia (térmica) e a valorização agrônômica do biofertilizante (Oliveira, 2004a; Bonazzi, 2001; Lucas Junior, 1994).

A restrição de espaço e a necessidade de atender cada vez mais as demandas de energia (térmica/elétrica), água de boa qualidade e alimento, têm colocado alguns paradigmas a serem vencidos, os quais se relacionam, principalmente, à questão ambiental e à geração e utilização de energia nas propriedades.

O aspecto energia é cada vez mais evidenciado pela interferência no custo final de produção sendo, no caso da suinocultura e da avicultura, o fator que merece ser melhor trabalhado, uma vez que as oscilações de preço podem reduzir a competitividade do setor. Ressalta-se que a recente crise energética, o aquecimento global e a alta dos preços do petróleo, têm determinado uma procura por alternativas energéticas no meio rural.

A utilização de Biodigestores, no Brasil, tem merecido importante destaque devido aos aspectos de saneamento e energia, além de estimular a reciclagem de nutrientes (Oliveira, 1993a; Lucas Junior, 1994; Oliveira, 2004a). A recuperação do biogás possibilita a geração de energia em substituição a fontes de origem fóssil, portanto, com o uso de biodigestores, além de diminuir as emissões de CO_2 pela substituição de outras fontes energéticas de origem fóssil (lenha, carvão), diminui-se também a emissão de gases produzidos na fermentação e estabilização dos dejetos que normalmente seriam emitidos para a atmosfera pelas esterqueiras e lagoas de estabilização, usadas para o tratamento dos dejetos de suínos (CH_4 , é o principal gás gerado), (Oliveira, 2002; Oliveira et al., 2003; Oliveira, 2004a).

No passado, o interesse pelo biogás no Brasil, teve seu ápice nas décadas de 70 e 80, especialmente entre os suinocultores. Uma série de fatores foi responsável pelo insucesso dos programas de biodigestores neste período, entre os quais podem

ser citados: 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; falta de equipamentos desenvolvidos exclusivamente para o uso de biogás e a baixa durabilidade dos equipamentos adaptados para a conversão do biogás em energia; ausência de condensadores para água e de filtros para os gases corrosivos gerados no processo de biodigestão; disponibilidade e baixo custo da energia elétrica e do GLP e não resolução da questão ambiental, pois os reatores utilizados na biodigestão, por si só, não são considerados como um sistema completo de tratamento (Kunz, et al., 2004; Oliveira, 2003a; Oliveira, 2004a).

Após 30 anos, os biodigestores ressurgem como alternativa ao suinocultor, graças a disponibilidade de novos materiais para a construção dos biodigestores e, evidentemente, da maior dependência de energia das propriedades em função do aumento da escala de produção, da matriz energética (automação) e do aumento dos custos da energia tradicional.

A utilização das mantas plásticas na construção dos biodigestores, material de alta versatilidade e baixo custo, é o fator responsável pelo barateamento dos investimentos de implantação e da sua disseminação.

Aliado a isso, tem-se a mudança ocorrida no clima nos últimos anos, fazendo com que um grande número de países europeus, em 1997, assinassem o Protocolo de Kyoto, na tentativa de amenizar o efeito estufa. Embora a medida pareça ser muito atrativa, não se pode esquecer que o problema ambiental causado pelos efluentes de suínos e/ou aves, não é resolvido apenas comercializando créditos de carbono; É necessário fomentar ações que sejam sustentáveis, e que o produtor tenha a possibilidade de utilizar a energia, que está sendo desperdiçada muitas vezes com a queima direta do biogás (Lima, et al., 2001; Cruz & Sousa, 2004).

Programas oficiais, lançados em 2005, estimulam a implantação de biodigestores focados principalmente, na geração de energia e na possibilidade de participarem do mercado de carbono, resultando na diminuição do impacto ambiental e agregação de valor. O objetivo destes programas é de reduzir a dependência das pequenas propriedades rurais na aquisição de adubos químicos e de energia térmica para os diversos usos (aquecimento, iluminação, resfriamento), bem como, reduzir a poluição e a emissão de gases de efeito estufa causado pelos armazenamento/tratamentos dos dejetos dos suínos em esterqueiras e lagoas e aumentar a renda dos criadores.

Os biodigestores fazem parte de um processo de tratamento dos dejetos, não devendo ser vistos como uma solução definitiva, pois ele possui limitações quanto a eficiência da remoção da matéria orgânica e de nutrientes. A possibilidade de utilização do biogás para geração de energia térmica e elétrica agrega valor ao dejetos diminuindo seus custos com o tratamento (Oliveira, et al., 2006).

2 O BIODIGESTOR

A operação de um biodigestor está ligada à seqüência bioquímica das transformações metabólicas do processo, bem como de uma série de fatores que interferem no processo, entre os quais, temperatura, pH, concentrações de sólidos e composição do substrato.

Segundo Kunz, et al., (2004) a biodigestão anaeróbia é um processo conhecido há muito tempo e seu emprego na produção de biogás para a conversão de energia é muito popular nos países asiáticos como, China e Índia.

No Brasil, apesar dos avanços obtidos no conhecimento do processo de digestão anaeróbia, na tecnologia de construção e de operação de biodigestores, da redução dos custos de investimento e de manutenção, ainda há problemas na utilização da tecnologia. Ainda faltam equipamentos desenvolvidos especificamente para o uso do biogás, principalmente aquecedores ambientais, que poderiam substituir os sistemas convencionais em uso, desenvolvidos para o GLP ou a lenha (Perdomo, et al. 2003; Oliveira, 2004a). Além disso, existe a falta de conhecimento de que a fermentação anaeróbia é um processo muito sensível pois envolvem uma grande gama de microorganismos.

O sucesso da digestão depende do balanceamento entre as bactérias que produzem gás metano a partir dos ácidos orgânicos e este, é dado pela carga diária (sólidos voláteis), alcalinidade, pH, temperatura e qualidade do material orgânico, ou seja, da sua operação (Oliveira & Otsubo, 2002; Oliveira, 2005).

A entrada de antibióticos, inseticidas e desinfetantes no biodigestor também pode inibir a atividade biológica diminuindo a capacidade do sistema em produzir biogás (Oliveira, 1983). A formação de zonas de curto circuito, dentro do biodigestor e o isolamento das bactérias de contato com a mistura em biodigestão, durante a fase de metanogênese também são fatores que diminuem a eficiência do sistema e contribui para o assoreamento precoce do biodigestor e redução de sua vida útil. A agitação da biomassa no biodigestor pode amenizar estes problemas (La Farge, 1995).

O processo de biometanização envolve a conversão de biomassa em metano sobre condições anaeróbias. Esta conversão do complexo orgânico composto de metano e dióxido de carbono requer uma mistura de espécies bacterianas. Dependendo da temperatura que o processo está acontecendo, o tratamento de resíduos orgânicos é basicamente de três tipos; A biometanização com temperatura entre 45–60°C é considerada termofílica, a que ocorre entre as temperaturas de 20–45°C é a mesofílica e a digestão anaeróbia de matéria orgânica em baixas temperaturas (<20°C) é referida como digestão psicofílica.

A maioria dos biodigestores anaeróbios têm sido projetados na faixa mesófila, embora também seja possível a operação destes na faixa termofílica. Entretanto, a experiência da operação de digestões anaeróbios nesta faixa não tem sido totalmente satisfatória, existindo ainda muitas questões a serem esclarecidas, dentre elas, se os benefícios advindos superam as desvantagens, incluindo o suplemento de energia necessário para aquecer os digestores, a má qualidade do sobrenadante e a instabilidade do processo (Chernicharo, 1997; Sanchez et al., 2005).

A partida de um biodigestor é tarefa de fundamental importância, haja vista que, se esse processo for mal conduzido, o êxito de funcionamento do reator será prejudicado ou mesmo frustrado (Nascimento, 1995; Sanchez et al., 2005).

O início da operação de um biodigestor está intimamente ligado à seqüência das transformações metabólicas do processo de biodigestão anaeróbia, que é uma fermentação lenta, implicando na ocorrência de um intervalo de tempo, às vezes muito longo, até que atinja a estabilidade de funcionamento, isto é, equilíbrio harmônico entre seus diferentes estágios (Lucas Junior, 1994; La Farge, 1995).

Souza, et al. (2002), avaliando a partida de biodigestores de bancada, alimentados com dejetos de suíno, com 6 g.L⁻¹ de sólidos totais, submetidos a três temperaturas diferentes (25, 35 e 40°C) e agitação do substrato, concluíram que as

temperaturas de 35 e 40°C favoreceram a partida dos biodigestores, pois resultaram em maior produção acumulada de biogás. Massé & Masse (2001), estudando o efeito das temperaturas de 20°C, 25°C e 30°C no tratamento de águas residuárias de abatedouro em biodigestor anaeróbio seqüencial, concluíram que a produção de metano decai quando o biodigestor é operado na temperatura de 20°C.

A geração de biogás no interior de um biodigestor é um processo termodinâmico, no qual o balanço de energia deve ser considerado (Souza, 2001). Mudanças bruscas na temperatura, podem afetar o desempenho da digestão adversamente (Parkin & Owen, 1986).

A perda total de calor da superfície de interface dos dejetos para os envoltórios do biodigestor, no espaço onde se acumula o biogás produzido, ocorre por processos de condução, convecção e radiação (Axaopoulos, et al., 2001). Uma outra causa de mudança súbita da temperatura é o aumento simultâneo na concentração de todos os ácidos graxos voláteis, especialmente o acético e propiônico (Dohanyos, et al., 1985). A extensão do impacto depende de fatores como a magnitude da mudança de temperatura aplicada, o tempo de exposição e a composição bacteriana do substrato (Van Lier, et al., 1996 e Visser, et al., 1993).

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, bioreatores podem estar sujeitos a flutuações de temperatura, devido a grandes variações na temperatura do ar ambiente (Massé, et al., 2003; Oliveira, 2005). Sendo assim, é necessário o aquecimento do substrato em digestão, para uma maior uniformidade na temperatura do substrato e conseqüentemente maior eficiência do biodigestor.

O aquecimento interno pode ser feito por meio da circulação de água em trocador de calor. Monitorando-se a temperatura para que a água não ultrapasse 54,4°C, prediz-se a formação de incrustações do conteúdo do digestor na tubulação (Benincasa, et al., 1991).

Ao se utilizar sistemas de aquecimento num biodigestor, deve-se fazer uma análise de quantidade de energia para elevar-se a temperatura do substrato e a quantidade de gás produzida como resultado dessa elevação de temperatura. Caso o incremento na produção de biogás seja inferior, igual ou levemente inferior à energia gasta no processo, o sistema de aquecimento torna-se inviável (Axaopoulos & Panagakis, 2003; Energiahp, 2003).

A percepção de que os biodigestores com grandes volumes (biomassa), produzem altas quantidades de biogás, nem sempre é verdadeira, entretanto o dimensionamento do biodigestor deverá ser compatível com o tempo de residência hidráulica, a temperatura da biomassa, carga de sólidos voláteis e as demandas de biogás na propriedade (Oliveira, 2005; La Farge, 1995).

Biodigestores com grandes gasômetros representam um risco à segurança dos produtores, face à ação mecânica dos ventos, aumentando o risco de vazamentos de gás e sua possibilidade de ocorrer uma combustão incontrolável. Os modelos de biodigestores adotados entre os produtores de suínos, muitas vezes não passam de "simples esterqueiras cobertas" e, nem sempre projetados para otimizar a geração de biogás e biofertilizante. Aliado a isso, grande parte dos dejetos são extremamente liqüefeitos, com baixa concentração de sólidos voláteis fruto de um grande aporte de água pelo desperdício em bebedores, entrada de água de chuva e lavagem excessiva das baias (Oliveira, 2005).

3 O BIOGÁS

A digestão anaeróbia é um processo de tratamento de materiais orgânicos que se desenvolve na ausência de oxigênio e, simultaneamente, uma opção energética, com reconhecidas vantagens ambientais. Um dos benefícios do processo, que logo contribuiu para um crescente interesse por esta tecnologia, reside na conversão da maior parte da carga poluente do efluente numa fonte energia: o biogás.

A digestão anaeróbia é um processo em que alguns microrganismos que atuam na ausência de oxigênio, atacam a estrutura de materiais orgânicos complexos, produzindo compostos simples como o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2) (Sanchez et al., 2005). Os microrganismos asseguram a energia e os nutrientes necessários para o seu próprio crescimento e reprodução. A Fig. 1, descreve a decomposição anaeróbia de compostos orgânicos, levada a cabo pelos microrganismos. É apresentada como um processo de sete passos.

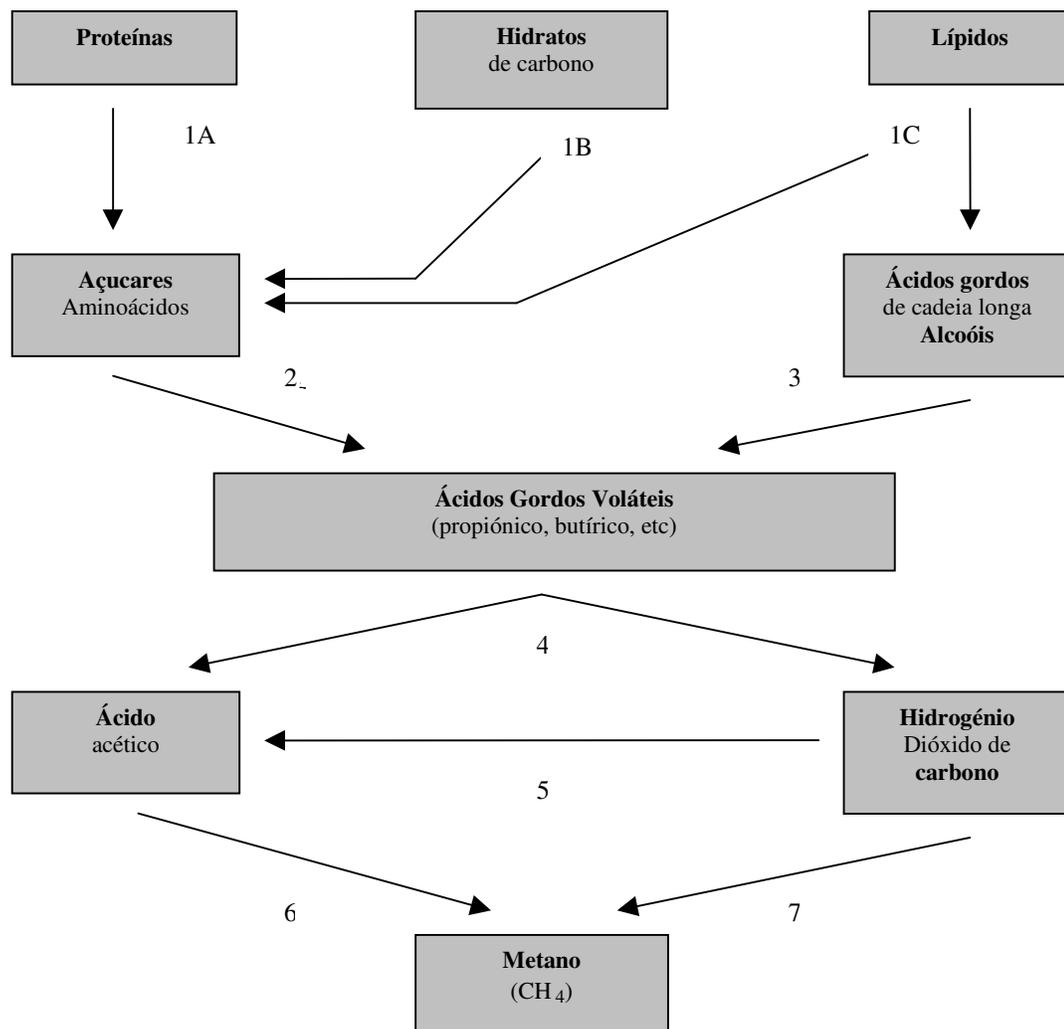


Fig. 1 - Digestão anaeróbia de material orgânico solúvel.

Os principais passos do processo de digestão anaeróbia: hidrólise de proteínas, lípidios e hidratos de carbono; fermentação de aminoácidos e açúcares; oxidação anaeróbia de ácidos gordos de cadeia longa e álcoois; oxidação anaeróbia de ácidos gordos voláteis (exceto acético); conversão de CO_2 e H_2 em ácido acético; conversão do acético em CH_4 ; conversão do H_2 em CH_4 . Como se pode verificar na

Tabela 1 há quatro fases distintas no processo de digestão anaeróbia, levadas a cabo por três grandes grupos de microorganismos.

Tabela 1 - Grupo de bactérias e fases distintas no processo de digestão anaeróbia.

Grupo de bactérias	Fase	Passo
Fermentativas	Hidrólise	1
	Acidogénese	2 e 3
Acetogénicas	Acetogénese	4 e 5
Metanogénicas	Metanogénese	6 e 7

Conduzindo digestão anaeróbia na armazenagem implica-se em eventualmente, se expor os microrganismos à temperaturas baixas. Isto pode afetar a população microbiana de duas maneiras: pela mudança imediata na taxa de atividade, e mudança, a partir de um período mais longo, na composição da própria população microbioana. Segundo Abou Nohra, et al. (2003), a temperatura não é um fator limitante no implemento do tratamento anaeróbio, mas um projeto adequado deve ser elaborado.

Os microrganismos produtores de metano são sensíveis a variação de temperatura, sendo recomendado se assegurar a sua estabilidade, seja através do aquecimento interno ou pelo melhor isolamento térmico da câmara de digestão durante os meses de inverno. Este ponto é bastante crítico pois nos meses de inverno é que se apresenta uma maior demanda por energia térmica e uma tendência dos biodigestores em produzirem volumes menores de biogás causados pelas baixas temperaturas.

Ao passar pelo biodigestor, o efluente perde carbono na forma de metano e CO₂ (diminuição na relação C/N da matéria orgânica, o que melhora as condições do material para fins agrícola em função do aumento da solubilidade de alguns nutrientes). No entanto, a aplicação do efluente deve levar em conta critérios agrônômicos para evitar o impacto ambiental. Os custos com transporte, topografia ondulada, propriedades de pequeno tamanho e a escassez de área agrícolas apropriadas para a mecanização, constituem um obstáculo a otimização do uso de dejetos animais na forma de biofertilizantes (Embrapa Suínos e Aves, 2003; Oliveira, 2004b).

O metano, principal componente do biogás, não tem cheiro, cor ou sabor, mas outros gases presentes 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 e o ar, para permitir uma queima eficiente. O biogás, por ser extremamente inflamável, pode ser simplesmente queimado para reduzir o efeito estufa (o metano apresenta um poder estufa cerca de 21 vezes maior que o CO₂) ou aproveitado para uso doméstico, motores de combustão interna, sistemas de geração de energia elétrica ou térmica (Guyot, 1997; Oliveira, et al., 2003).

A presença de vapor d'água, CO₂ e gases corrosivos (H₂S) no biogás "in natura", constitui-se no principal problema para a viabilização de seu armazenamento e na produção de energia. Equipamentos mais sofisticados, a exemplo de motores à combustão, geradores, bombas e compressores têm vida útil extremamente reduzida. A remoção de água, H₂S e outros elementos através de filtros e dispositivos de resfriamento, condensação e lavagem é imprescindível para a viabilidade de uso em longo prazo. O esforço desenvolvido pela indústria brasileira na adaptação e desenvolvimento de equipamentos para o uso do biogás é ainda muito pequeno sendo

preciso avançar nesta questão, colocando a disposição dos produtores serviços, materiais e equipamentos mais adequados e confiáveis (La Farge, 1995).

4 REVISÃO: UTILIZAÇÃO DE BIODIGESTOR E BIOGÁS NO MANEJO/TRATAMENTO DE RESÍDUOS ANIMAIS

Segundo Al Seadi & Møller, (2003), o renovado interesse pelas tecnologia de digestão anaeróbia é explicado pelo seu potencial de estabilizar a matéria orgânica, reduzindo o odor e patógenos, controlando contaminantes físicos e químicos e promovendo um produto final recicláveis: biogás e fertilizante.

O tratamento de dejetos por digestão anaeróbia segundo Sánchez, et al. (2005), possui várias vantagens, tais como: destruir organismos patogênicos e parasitas, o metano pode ser usado como uma fonte de energia, produção de baixa biomassa determina menor volume de dejetos e menor custo, capacidade de estabilizar grande volumes de dejetos orgânicos diluídos a baixo custo.

Magbanua Junior, et al. (2001), testaram digestão anaeróbia usando resíduos de suínos e aves em várias proporções e concluíram que os tratamentos que receberam dejetos de suínos e aves juntos produziram mais alto rendimento de biogás e metano comparado com os dejetos isoladamente.

A digestão anaeróbia é um processo relativamente eficiente para cama de aviários produzindo uma mistura de biogás coletável em média contendo 60% de metano. O metano produzido por este processo pode ser usado como um combustível para o aquecimento do ambiente na produção de frangos de corte, como substituto do gás natural ou óleo combustível e pode também ser queimado em geradores de energia produzindo eletricidade para o uso na própria granja ou ser vendida para companhias de eletricidade e ou combustível. O lodo residual é estável e pode ser usado como um fertilizante no solo. Em grandes operações os gases necessitam ser tratados para remover as impurezas, e podem ser prensados e vendido comercialmente, (Oliveira, 2001; Kelleher, et al., 2002).

Com o objetivo de reduzir as emissões de CH_4 , é essencial entender as diferentes práticas de manejo de dejetos nas explorações. Os mesmos autores estabeleceram um sistema reator de laboratório que permite uma medida direta das emissões de CH_4 e CO_2 em diferentes dejetos durante um período de 50 dias de armazenagem. Os resultados ilustraram uma rápida ocorrência de geração e liberação de CH_4 , e confirma que a taxa diária de emissão em dejetos de suínos varia de poucas gramas até em torno de 100g. Concluíram que todas as técnicas de tratamento de dejetos com separação mecânica, aditivos e aeração, provaram efetivamente uma redução de 20 a 100% na emissão de CH_4 durante armazenagens subsequentes. Este estudo também demonstrou a importância das estratégias de manejo de efluentes nas explorações, para o controle de poluentes liberado durante a armazenagem.

Digestão anaeróbia e produção de biogás são indicados e adequados na produção de frangos, devido a grande quantidade de resíduos produzido com o uso de camas de diferentes materiais e também devido ao elevado consumo de energia para a produção de calor dentro dos aviários. Sendo assim, a digestão anaeróbia pode ser uma alternativa viável para o tratamento dos dejetos na avicultura, (Demircl & Demirer, 2004). Os autores anteriormente citados, estudaram e concluíram que o rendimento do biogás dos dejetos de frangos pode ser aumentado quando misturados com dejetos de outros animais como, suínos e bovinos.

Møller, et al. (2004), determinaram em termos de sólidos voláteis, volume e produção da exploração, a produtividade de metano em dejetos. Encontraram que a produtividade do metano 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. O rendimento de metano volumétrico de resto de culturas foi mais alto que o encontrado no rendimento de dejetos totais e de frações sólidos do dejetos, devido a alta quantidade de sólidos voláteis, e conseqüentemente o uso de resto de culturas como material para camas irá aumentar a produtividade de metano volumétrico, assim como, a exploração base.

A cogeração define-se como produção combinada de calor e eletricidade, independentemente do processo de equipamento utilizado (caldeira com gerador a vapor, grupo motor gerador, turbina) (Balestieri, 2002). Através deste processo a energia renovável, proveniente da produção de biogás, pode ser convertida em energia elétrica e térmica.

A energia elétrica pode ser utilizada nas instalação pecuárias, em sistemas de iluminação ou em sistemas de climatização preferencialmente em sistemas de arrefecimento e de ventilação, já que a energia necessária para o aquecimento pode ser obtida a partir do biogás na sua forma térmica (calor). A energia elétrica excedente pode, em alguns casos, ser exportada para a rede nacional ou utilizada em consumos domésticos.

O restante do conteúdo energético do biogás é convertido em calor através de equipamentos de queima. Este calor é proveniente dos gases de escape, de água de arrefecimento do motor e do óleo de lubrificação. Esta energia é recuperada através de permutadores, que recuperam, na forma de H₂O quente, a energia térmica dos circuitos de arrefecimento do motor, do óleo de lubrificação e dos gases de escape. A energia térmica tem dois níveis: gases de escape do motor com elevada temperatura (até cerca de 500°C) e H₂O quente proveniente dos sistemas de arrefecimento do motor que pode ser subdividida em H₂O quente a alta temperatura (que pode atingir os 120°C) e H₂O quente a baixa temperatura (até 50°C), (Cruz & Sousa, 2004).

Sendo assim, a energia térmica resultante além de satisfazer as necessidades energéticas do digestor, se este dela necessitar ou pode ser ainda ser reutilizada através de uma outra aplicação nomeadamente em sistemas condicionamento ambiental de exploração de produção vegetal/animal (Oliveira & Mendes, 2006).

Em uma revisão feita por Yadvika et al. (2004), revelaram que existe uma grande possibilidade de aumentar a produção de biogás em condições de campo. O uso de certos aditivos inorgânicos e orgânicos, parecem ser promissores para o aumento da produção de biogás. Entre os diferentes tipos de biomassa usadas como aditivos, alguns tem sido encontrados para aumentar a produção de muitos diferentes tipos de gás. No entanto, sua utilidade é limitada devido a variabilidade sazonal de diferentes regiões. Outro problema observado nas condições de campo é a obstrução do reator em longos percursos. O aspecto prático do uso de cultura microbiana pura como aditivos deve ser analisado, em vista de certos problemas relacionados a saúde humana e ecodinâmicos. A recirculação do dejetos efluente em bases diárias e agitando o conteúdo do digestor, usando técnicas simples para aumentar a produção de biogás parece ser viável nas condições rurais (La Farge, 1995).

Murphy & Mckeogh, (2005), pesquisando resíduos, concluíram que a demanda de energia elétrica, térmica e com transportes conta com 50% do biogás produzido por digestão de material biológico. Assim, a produção de biogás com metano enriquecido, contribui com 50% na renda, como um combustível de transporte e 50% das reservas do potencial do gás estufa são perdidos.

Estudos feitos por Batzias et al. (2005), na Grécia, utilizaram o método GIS para avaliar dejetos da produção animal para a produção de biogás. Segundo os pesquisadores, este método de aplicação pode ser usado para acessar o potencial de biogás da produção de dejetos a nível nacional e regional, projetando este potencial pela encolha do melhor modelo adaptado.

Estudos desenvolvidos na Dinamarca pelos pesquisadores Haven, et al. (2005), avaliando o sucesso e desafios dos projetos com biogás, eles argumentam que três fatores tem sido importante para o funcionamento dos projetos com biogás na Dinamarca. Primeiro, o governo dinamarquês aplicou uma estratégia para estimular a interação e aprendizagem entre vários grupos sociais. Segundo, um dedicado trabalho social e uma estimulação possibilitou um desenvolvimento contínuo de projetos de biogás sem interrupções desde os anos 90. Terceiro, as específicas circunstâncias dinamarquesas tem sido benéficas, incluindo política para descentralizado CHP, a existência de sistemas regionais de aquecimento, a implantação de taxas de energia nos anos 80 e a preferência dos produtores dinamarqueses por cooperativas em comunidades pequenas. O corrente insucesso dos projetos de biogás é causado principalmente pela mudança na energia e políticas ambientais e uma limitada disponibilidade de resíduos orgânicos

5 ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

A produção de biogás é estimada, entre outros fatores, pela temperatura de operação do biodigestor, sendo que nos Estados do Sul a faixa de temperatura da biomassa situa-se entre 20 e 25°C (Oliveira, 2005; Kunz, et al. 2005), entretanto para os 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 em função do desperdício de água utilizado na limpeza das baias dos animais, pelos vazamentos existentes nas redes hidráulicas e nos bebedouros, pela entrada de água da chuva nos canais de manejo dos dejetos e pelo uso da lâmina d'água em alguns sistemas de produção (Scherer, et al., 1996; Oliveira, 2005).

O grau de diluição dos dejetos, pode ser determinado pela observação da Matéria Seca (MS) e/ou Sólidos Totais (ST) presentes nos dejetos, sendo que os Sólidos Voláteis (SV), que são os substratos para as bactérias metanogênicas, representam entre 70 a 75% dos Sólidos Totais, para o caso dos dejetos dos suínos. Os SV, são os responsáveis diretos pela produção de biogás (Lucas Junior, 1994; La Farge, 1995; Centro para a Conservação de Energia, 2000; Sanchez et al., 2005). Sendo que, quanto maior for a concentração de Sólidos Voláteis na alimentação diária do biodigestor (kg/m^3), maior será a capacidade do biodigestor de produção de biogás.

Observações realizadas por Scherer, et al. (1996), em propriedades produtoras de suínos, no Oeste Catarinense, determinou que o valor médio dos Sólidos Totais observado foi de 3% ($30 \text{ kg}/\text{m}^3$), em função do desperdício de água existente nas propriedades. Na Tabela 2, pode-se observar as variações da Matéria Seca (MS), Nitrogênio Total (Ntot.), Fósforo (P_2O_5) e Potássio (K_2O), em função da densidade observada para os dejetos de suínos.

Tabela 2 - Estimativa dos teores da MS, Ntot., P₂O₅ e K₂O, nos dejetos de suínos em função da sua densidade.

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

Fonte: Scherer, et al. (1996).

Em propriedades produtoras de suínos com elevado desperdício de água e uso constante de lâmina d'água, tem-se observado que a ST (%) é menor que 1,5 ou 15 (kg/m³) (Oliveira, 2004b; Oliveira, 2005). Convém lembrar que, os SV, podem ser estimados, pois eles representam entre 70 a 75% dos Sólidos Totais (Centro para a Conservação de Energia, 2000).

A produção de biogás nos modelos de biodigestores existente no Brasil, pode ser estimada em função da alimentação diária de Sólidos Voláteis (SV), pois para o caso da produção de suínos, a produção específica de biogás é de 0,45 m³/kg de SV, para temperaturas da biomassa variando entre 30 e 35°C (La Farge, 1995; Centro para a Conservação de Energia, 2000; Oliveira, 2005).

O uso do modelo matemático desenvolvido por Chen (1983), citado por La Farge (1995), para estimar a produção de biogás, tem sido empregado com sucesso, principalmente porque o número de variáveis exigidas para alimentar o modelo (SV, TRH, Temperatura, Volume de Biomassa, Volume de dejetos e Número de animais) é baixo e de fácil obtenção, sendo que o modelo considera a temperatura de operação da biomassa no biodigestor. Este modelo foi escolhido tendo em vista que o mesmo tem sido usado com sucesso por diferentes pesquisadores, segundo La Farge (1995). Para a alimentação do modelo usou-se os dados citados acima, tanto para o volume do biodigestor como para as características qualitativas dos dejetos de suínos. O modelo, citado, gerou as curvas de produção específica de biogás (Fig. 2), para as diferentes alimentações do biodigestor com dejetos de suínos (Sólidos Voláteis (SV) variando de 10 à 75 kg/ m³), usando-se diferentes TRHs (22 e 30 dias) e temperaturas da biomassa no interior do biodigestor de 20 e 35°C (Oliveira, 2005).

Nas Fig. 2, observa-se as curvas geradas, pelo modelo utilizado, para a produção específica de biogás em função de diferentes taxas de alimentação do biodigestor (SV kg/m³), para diferentes Tempos de Retenção Hidráulica (TRH) de 22 e 30 dias e temperaturas da biomassa de 20 e 35°C.

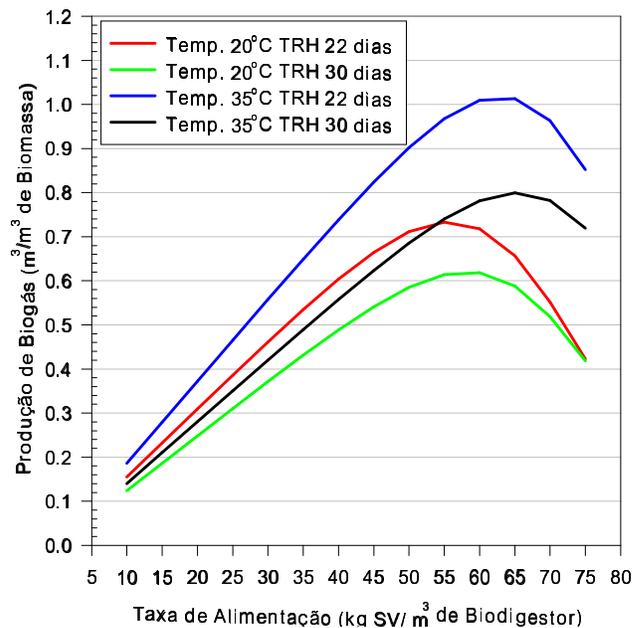


Fig. 2 - Produção específica de biogás em função de diferentes taxas de alimentação do biodigestor (kg SV/m^3 de biomassa), para diferentes TRH (22 e 30 dias) e diferentes temperaturas da biomassa (20°C e 35°C).

Analisando a Fig. 2, pode-se observar 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 m^3 para cada m^3 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 SV por m^3 de biomassa para temperaturas da biomassa, entre 20 e 35°C e TRH de 22 dias. Observando-se a Fig. 2, pode-se afirmar que para aumentar a produção diária de biogás, de biodigestor instalado em um sistema de produção de suínos, deve-se aumentar a carga de alimentação diária de Sólidos Voláteis para valores entre 55 e 65 kg por m^3 de biomassa existente no biodigestor, reduzir o Tempo de Retenção Hidráulico (TRH) para 22 dias e aumentar a temperatura da biomassa para 35°C (Oliveira, 2005).

Os microorganismos produtores de metano são muito sensíveis a variações de temperatura, sendo preciso assegurar a sua estabilidade, seja através do aquecimento interno ou de melhor isolamento térmico da câmara de digestão durante os meses de inverno, principalmente nos estados do Sul do Brasil, pois nos meses de inverno é que ocorre uma maior demanda por energia térmica e uma tendência dos biodigestores em produzirem volumes menores de biogás (Oliveira, et al., 2005).

6 EXPERIÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE BIODIGESTOR PARA A PRODUÇÃO DE BIOGÁS

O desenvolvimento de tecnologias para o tratamento e utilização dos dejetos é o grande desafio para as regiões com alta concentração de suínos. De um lado a pressão pelo aumento do número de suínos em pequenas áreas de produção, e pelo

aumento da produtividade e, do outro, que esse aumento não provoque a destruição do meio ambiente. A restrição de espaço e a necessidade de atender cada vez mais as demandas de energia, água de boa qualidade e alimento tem colocado alguns paradigmas a serem vencidos, os quais se relacionam principalmente à questão ambiental e a disponibilidade de energia (Oliveira, 2004b; Oliveira, 2005).

O projeto Suinocultura Santa Catarina - PNMA II instalou dois biodigestores, em propriedades produtoras de suínos, com a finalidade de implantação de unidades demonstrativas. O modelo escolhido foi de um biodigestor de construção e operação simples e poder ser implantado em unidades de produção de suínos de pequeno e médio porte, com custo de implantação e manutenção dentro da realidade econômica dos produtores (Oliveira, 2004b). O modelo de biodigestor escolhido é versátil ao uso de diferentes resíduos orgânicos animais e vegetais e à sua operação, requer uma carga diária constante e de manuseio do resíduo (diluição e homogeneização).

Na implantação dos biodigestores foram selecionadas duas 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 Coruja/Bonito. Estas propriedades servirão como unidades piloto, para estudo da produção de biogás e geração de energia (térmica e elétrica), sendo também utilizada como unidade demonstrativa do projeto Suinocultura Santa Catarina. Na Fig. 3, pode-se observar biodigestores, instalados pelo PNMAII, com volume de biomassa de 100 e 300 m³, respectivamente, para a produção de biogás.



Fig. 3 - Biodigestores, instalados pelo PNMAII, com volume de biomassa de 100 e 300 m³, respectivamente, para a produção de biogás.

6.1 Uso do biodigestor para geração do biogás e de energia

O presente trabalho foi realizado em uma propriedade produtora de suínos, na região de Concórdia (SC), onde se observou a produção de biogás entre os meses de julho à dezembro de 2004. A propriedade 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. Os animais foram alimentados com ração e água à vontade. A edificação para a produção de suínos, possui piso compacto com canais para o manejo dos dejetos do lado externo. Os dejetos são raspados diariamente de dentro das baias da edificação para os canais externos e a limpeza total das baias da edificação é realizada somente na saída dos animais no final da fase de terminação. A propriedade possui um biodigestor com volume da câmara de digestão para 100 m³ de biomassa. No biodigestor, a câmara de biomassa foi escavada no solo e revestida com vinimanta de PVC (cor negra) com espessura de 0,8 mm, sendo o depósito de biogás coberto,

também com vinimanta de PVC (cor negra), com espessura de 1 mm. Na Fig. 4, pode-se observar a vista da propriedade com a antiga esterqueira antes da instalação do biodigestor.



Fig. 4 - Vista da propriedade com a antiga esterqueira antes da instalação do biodigestor.

O biodigestor foi projetado para um Tempo de Retenção Hidráulico (TRH) de 30 dias, sendo alimentado diariamente com $2,45 \text{ m}^3$ 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. Foi instalado, no biodigestor, um medidor para avaliação da produção de biogás modelo Liceu MG-4, com capacidade para a medição máxima de $4 \text{ m}^3/\text{hora}$. Semanalmente, eram coletadas 3 amostra de dejetos na entrada e na saída do biodigestor para análise dos seguintes parâmetros: Sólidos Totais (ST) g/litro; Sólidos Voláteis (SV) g/litro; pH; N-NH_3 mg/litro; P_{tot} mg/L; Nt mg/L; Demanda Química de Oxigênio (DQO) mg/litro e a Densidade dos dejetos com o uso de um densímetro (1.000 à 1.060 kg/m^3).

Mediu-se a temperatura da biomassa no interior da câmara de digestão com o uso de um termopar (Co-Cu). Utilizou-se o modelo matemático desenvolvido por Chen (1983), descrito em (La Farge, 1995), para estimar a produção de biogás e poder comparar os resultados obtidos com o modelo com a produção de biogás observada.

Na Fig. 5, pode-se observar uma planta e corte esquemático do biodigestor revestido e coberto com vinimanta de PVC. A Fig. 6 mostra a vista do biodigestor e sistema de filtragem, medição de volume e compressor para biogás, instalado pelo PNMA II.

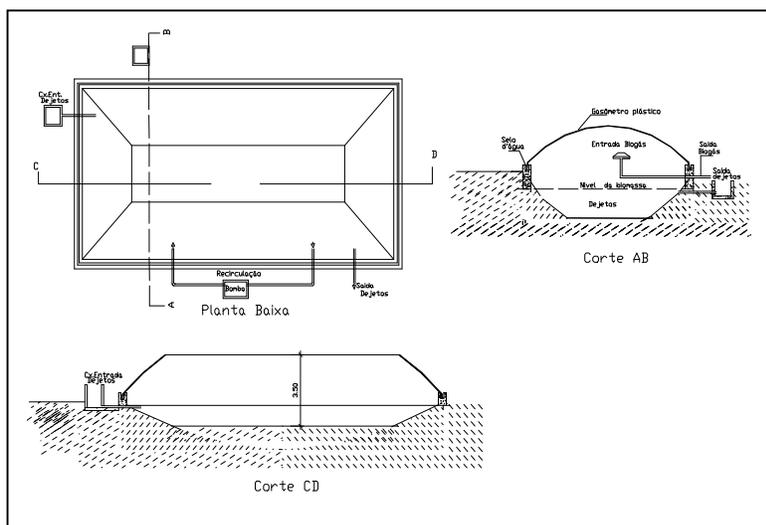


Fig. 5 - Planta e Corte esquemático do biodigestor revestido e coberto com vinimanta de PVC.



Fig. 6 - Vista do biodigestor e sistema de filtragem, medição de volume e compressor para biogás, instalado pelo PNMA II.

6.1.1 Resultados observados

Apresentamos a seguir os principais resultados obtidos a partir da implantação de biodigestores pelo Projeto Suinocultura Santa Catarina (PNMA II) e na experiência do biogás no aquecimento ambiental de uma unidade de produção de leitões. A implantação de biodigestores pelo Projeto Suinocultura Santa Catarina (PNMA II) também proporcionou experiência na geração de biogás com uso de dejetos suínos, utilização de biogás no aquecimento ambiental de aviário, biodigestor utilizado como tratamento de dejetos e uso do biogás para geração de energia elétrica.

6.1.2 Geração de biogás

No período observado, a média e o desvio padrão das medições semanais da densidade (kg/m^3) dos dejetos de suínos na entrada do biodigestor foi de $1.042,15 \pm 15,38$ (sólidos totais de 8,42%), sendo que na saída foi de $1.010,32 \pm 2,24$ (sólidos totais de 1,69%). A densidade média observada na entrada do biodigestor (sólidos totais de 8,77 %) pode ser considerada elevada quando comparada com os valores médios de sólidos totais 2,5%, observados em 80 propriedades produtoras de suínos, no Oeste Catarinense (Scherer, et al., 1996; Oliveira, 2005). Essa densidade foi obtida em função de um manejo adequado dos dejetos de suínos nas instalações (raspagem a seco e limpeza somente na saída dos animais) e o uso de novos bebedouros com o mínimo desperdício de água. Os valores de densidade estão correlacionados diretamente com os valores dos ST e SV, então quanto maior a densidade maior a concentração de ST e SV. A temperatura exerce influência sobre a velocidade do processo, sendo comum dividi-la em três faixas: a termofílica entre 50 e 70°C, a mesofílica entre 20 e 45°C, e psicrófila abaixo de 20°C.

A temperatura da biomassa observada no biodigestor situou-se entre 20 e 23°C, o que indica que na digestão anaeróbia da biomassa ocorreu predominantemente a presença de bactérias mesofílicas. 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 ST adicionados aumentou com a temperatura 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 de ST, observada na entrada do biodigestor foi de $75,12 \text{ g/L} \pm 16,7$ e para os SV foi de $56,31 \text{ g/L} \pm 18,8$, esses resultados estão de acordo com os

recomendados por Centro para a Conservação de Energia (2000) para a produção de biogás. A produção média diária de biogás observada no mês de julho foi de $52 \pm 10 \text{ m}^3$. A produção de biogás, em biodigestores em modelo Canadense, pode ser estimada em função da alimentação diária de Sólidos Voláteis (SV), pois segundo (Centro para a Conservação de Energia, 2000; La, Farge 1995) para suínos, a produção específica de biogás é de $0,45 \text{ m}^3/\text{kg}$ de SV. O uso do modelo matemático desenvolvido por Chen (1983), citado por (La Farge, 1995), para estimar a produção de biogás, tem sido empregado com sucesso.

A produção de biogás mínima registrada foi de 40 m^3 em agosto e máxima de 60 m^3 em dezembro. Usando-se o coeficiente de $0,45$ (m^3 de biogás por kg de SV) e multiplicando-se pela carga de alimentação do biodigestor, que é o produto da concentração de SV ($53,1 \text{ g/L}$) pela vazão de dejetos ($350 \text{ suínos} \times 7 \text{ litros} = 2,45 \text{ m}^3$), obtém-se uma produção estimada de biogás de $58,54 \text{ m}^3$, o que corresponde a produção de biogás observada. Usando-se a equação desenvolvida por (Oliveira, 2003b), para estimar a produção de dejetos pelos suínos em função do peso metabólico e do consumo de água, acrescida de 1 litro de água por dia, correspondente ao desperdício pelos bebedouros, mais os valores observados semanalmente para os SV, pode-se estimar a carga de alimentação do biodigestor. Então, com os valores de carga, usando-se o Modelo de Chen (1983) citado por La Farge (1995), podemos estimar a produção de biogás para o biodigestor usado neste trabalho (100 m^3). Na Fig. 7, pode-se observar os valores da produção de biogás observada e estimada pelo modelo de Chen (1983) citado em La Farge (1995) para a faixa de temperatura (20°C) de operação do biodigestor.

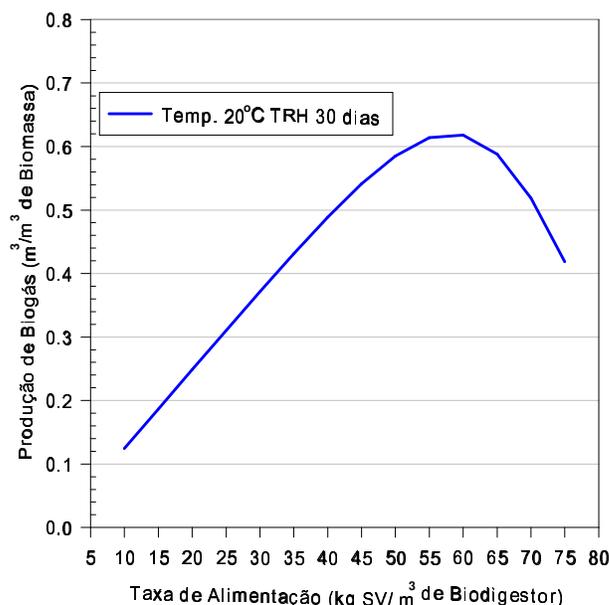


Fig. 7 - Produção específica de biogás (m^3/m^3 de biomassa), usando-se os valores observados de temperatura, Sólidos Voláteis (g/L), vazão de dejetos (litros/dia) e carga de alimentação do biodigestor.

Conclusão

O biodigestor instalado na propriedades produtoras de suínos, quando manejado adequadamente pode produzir biogás com uma eficiência de produção variando entre $0,35$ à $0,60 \text{ m}^3$ de biogás por m^3 de biomassa.

Para uma produção economicamente aceitável de biogás o manejo dos dejetos na unidade produtora de suínos deve buscar obter a maior concentração possível de Sólidos Voláteis e evitar o desperdício de água.

O uso do modelo matemático desenvolvido por Chen (1983) citado por La Farge (1995), pode ser usado para estimar a produção de biogás em biodigestores implantados no Brasil e alimentados com dejetos de suínos.

6.1.3 Utilização do biogás no aquecimento ambiental de aviário

Na propriedade existe um aviário com 12 x 100 m (1200 m²) com 2,60 m de pé-direito, para 14.400 aves (12 aves/m²), sem lanternim, coberto com telhas de barro, piso em chão batido e mureta lateral em alvenaria com 0,50 m de altura, completada com tela de arame até o telhado e cortinado (duplo) móvel externo e interno (Oliveira & Higarashi, 2006). As aves receberam ração da empresa integradora.

No aviário foram usadas 8 campânulas, fabricadas para o uso do GLP com diâmetro nominal do injetor de 0,652 mm, adaptadas para o uso do biogás, onde modificou-se o diâmetro do injetor para 1,50 mm (1,7672 mm²). A pressão da linha de alimentação de biogás, para as campânulas, utilizada foi de 0,517 kg/cm² (523,85 Pa). O calor gerado, pelas campânulas, foi testado no aquecimento do ambiente interno de um aviário para a produção de frango de corte. O manejo das campânulas no aviário era o seguinte: durante o dia (12 horas) era acionada 5 campânulas e durante a noite 8 (12 horas). Escolheu-se a 3 semanas de alojamento das aves (14 a 21 dias de idade) para as medições da temperatura e umidade relativa do ar, interna e externa ao aviário e da velocidade do ar (Anemômetro fio quente Mod. TSI-8455). As temperaturas foram observadas a cada 15 minutos, com o uso de dattaloger modelo Testo-175.

Os modelos para o cálculo de produção de calor sensível e latente, usados no experimento, foram baseados no modelo descrito por Soulomiac (1995) e Robin et al., (1998). A produção de calor total é dada pela Eq. (1): $H_{tot.b} = 10 \times m_b^{0,75}$ onde, $H_{tot.b}$ sendo, o calor total (W/ave), e m massa de aves (kg/ave). A fração sensível é calculada pela Eq. (2): $H_{sens.b} = H_{tot.b} \times (0,8 - 1,85 \times 10^{-7} \times (t_i + 10)^4)$ onde, $H_{sens.b}$ é a produção de calor sensível (W/ave), sendo t_i temperatura dentro da instalação (°C). $H_{sens.b}$ é positivo ou nulo. A fração de calor latente é calculada pela Eq.(3): $H_{lat.b} = H_{tot.b} - H_{sens.b}$ onde, $H_{lat.b}$ é a produção de calor latente (W/ave). Quando as aves são produzidas em camas, a fração de calor sensível é perdida na forma de transferência evaporativa do animal e da cama. E a cama produz calor em função da sua idade. Para estes dois termos são usadas equações ajustadas de vários experimentos com frangos de corte criados em condições comerciais (Soulomiac, 1995):

$T_{sens.b} = H_{tot.b} \times (4 \times 10^{-5} \times \sqrt{N} \times t_i^2)$; $H_{sens.l} = 3 \times 10^{-4} \times (N - 15) \times t_i \times \sqrt{N}$ onde, N é a idade da cama (dias), $T_{sens.b}$ a transferência evaporativa (W/ave), e $H_{sens.l}$ é a produção de calor sensível pela cama (W/ave. $H_{sens.l}$), podendo ser positivo ou nulo. A transferência de calor por condução através das paredes (C em W/ave) é globalmente calculada através do coeficiente de insolação térmica (G_c em W/m³.K): $C = G_c \times (t_i - t_o) \times S \times H$ onde, S é a superfície por ave (m²/ave), H a altura média do galpão (m, considera-se 4m), t_o temperatura fora do galpão (°C). Deste modo, a produção de calor sensível total é calculada pela equação seguinte:

$H_{sens} = H_{sens.b} + H_{sens.l} - T_{sens.b} - C + Q - Cool \times Lat$ onde, Q representa outras interferências sensível (energia radiante, aquecimento, etc, em W/ave), $Cool$ taxa de água quando injetada pelo evaporativo (kg/ave.s), e Lat calor latente de evaporação (J/kg na t_i), que é calculada a partir da recomendação de Queney (1974), citado por Soulomiac (1995):

$$Lat = (2500,9 - 2,365 \times t_i) \times 1000.$$

O total de produção de calor latente é calculado pela equação a seguir:

$$H_{lat} = H_{lat.b} + T_{sens.b} + Cool \times Lat.$$

O fluxo de calor é calculado utilizando-se da equação desenvolvida por Soulomiac (1995), onde A é a superfície de abertura (m^2/ave), R a eficiência da abertura (normalmente considera-se 0,67), g aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$), W nível de diferença entre as aberturas laterais e do forro (m, considera-se 1,4 m), rho densidade do ar (kg ar seco/m^3 umidade do ar), Cp capacidade do calor do ar (sendo $1010 \text{ J/kg ar seco. K}$):

$$Q_{tot} = (R.A)^{2/3} \times \left(g \times W \times \left| \frac{H_{sens}}{rho \times Cp \times (t_i + 273,15)} + 0,61 \times \frac{H_{lat}}{rho \times Lat} \right| \right)^{1/3}$$

O valor médio observado para a massa metabólica das aves, na semana de observação, foi de 0,425 kg no início (14 dias) e 0,785 kg no final (21 dias), a conversão alimentar média observada foi de 1,93 kg, observada no final da semana de experimentação. O Consumo médio de biogás registrado por campânulas foi de 0,226 m^3/h (totalizando em média 35,26 m^3/dia).

A umidade relativa média do ar interna registrada no período de experimentação foi de 47,70%, sendo que a máxima registrada foi de 65,6% e a mínima de 29,2%. O ar exterior apresentou uma umidade relativa média de 75,0%, sendo a máxima de 98,0% e a mínima de 33,3%, para o respectivo período de observação (Oliveira & Higarashi, 2006). A temperatura média de bulbo seco observada no interior do aviário foi de 28,09°C, sendo observada uma máxima de 32,86°C e mínima de 21,68°C, estando na zona de termoneutralidade térmica (Commision Internationale du Génie Rural, 1992; Silva, 2001). No exterior do aviário a temperatura média de bulbo seco observada foi de 11,29°C, sendo registrada uma máxima de 22,5°C e mínima de 2,47°C. Os fluxos de calor foram estimados em função dos valores observados das temperaturas, umidade relativa e velocidade do ar e a massa corporal dos animais, sendo que o fluxo de calor total foi de 42,52 W/m^2 , o fluxo de calor sensível foi de 76,51 W/m^2 e o fluxo de calor latente de 23,17 W/m^2 . Os fluxos observados estão de acordo com os resultados apresentados por Robin, et al. (1998).

Na Fig. 8, pode-se observar as variações da temperatura de bulbo seco, interna observada no aviário, o que está dentro da faixa recomendada por Robin, et al. (1998), Abreu et al., (2000) e Santos (2001).

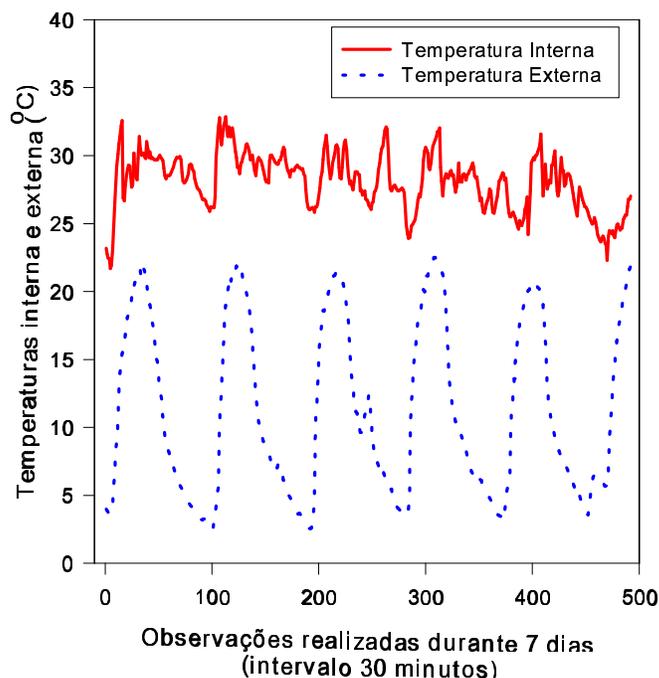


Fig. 8 - Temperatura de bulbo seco, interna e externa (°C), observada no aviário de produção de frango de corte, dos 14 aos 21 dias de criação.

Conclusão

O biogás produzido diariamente, pelos dejetos gerados por 400 suínos na fase de crescimento e terminação é capaz de gerar energia térmica suficiente para aquecer o ambiente interno de um aviário, mantendo a temperatura na faixa de conforto térmico, para a produção de 14.400 frangos de corte.

6.1.4 Biodigestor como unidade de tratamento dos dejetos de suínos

A temperatura da biomassa observada no biodigestor situou-se entre 20 e 23°C, o que indica que na digestão anaeróbia da biomassa ocorreu predominantemente a presença de bactérias mesofílicas. A temperatura exerce influência sobre a velocidade cinética do processo, sendo comum dividi-la em três faixas: a termofílica entre 50 e 70°C, a mesofílica entre 20 e 45°C, e a psicrófila abaixo de 20°C (4,5). O efeito da temperatura sobre a digestão anaeróbia foi avaliado por diferentes pesquisadores, onde a porcentagem de CH₄ manteve-se praticamente constante em 69%, mas a produção de biogás por kg de ST adicionados aumentou com a temperatura na faixa de 25 a 44°C (Lucas Junior, 1994; Zahn, et al., 2001).

A média e o desvio padrão da concentração de ST, observada na entrada do biodigestor, foi de 65,12 g/L ± 23,7 e para os SV foi de 53,1 g/L ± 20,8. No período observado, a média e o desvio padrão das medições semanais da densidade (kg/m³) dos dejetos de suínos na entrada do biodigestor foi de 1.032,15 ± 15,38, sendo que na saída do biodigestor foi de 1.010,32 ± 2,24. A densidade média observada na entrada do biodigestor (1.032,15 kg/m³), pode ser considerada elevada quando comparada com os valores médios de sólidos totais 25 g/L. Os valores médios observados na entrada e na saída do biodigestor para os seguintes parâmetros: pH; N-NH₃ mg/litro; Demanda

Química de Oxigênio (DQO) g/litro; P_{tot} (mg/L) e N_t (mg/L), são apresentados na Tabela 3.

Como pode-se observar, os valores de carga orgânica e de nutrientes foram reduzidos na saída do biodigestor, porém estes valores são elevados não permitindo seu lançamento nos corpos de água, valores semelhantes também foram observado em trabalhos desenvolvidos por Lucas Junior (1994) e Kunz, et al. (2005). O biodigestor faz parte de uma dos estágios do processo de tratamento dos dejetos de suínos, não devendo ser visto como uma solução definitiva, pois possui limitações quanto a eficiência da remoção da matéria orgânica e de nutrientes (Oliveira, et al., 2006).

Tabela 3 - Médias (mg L⁻¹) dos parâmetros observados de pH; N-NH₃; Demanda Química de Oxigênio (DQO); P_{tot} e N_t na alimentação e o efluente do biodigestor.

		pH	N-NH ₃ (mg/L)	DQO (mg/L)	P _{tot} (mg/L)	N _t (mg/L)
Entrada	Média	7,8	9.316	21.156	1.632	6.357
	Máximo	8,8	38.234	98.259	2.385	13.909
	Mínimo	7,1	1.461	42.500	963	204
	Desv. Padrão	0,54	13.192	38.009	482	3.584
Saída	Média	7,5	5.821	9.096	494	3.141
	Máximo	7,6	27.873	23.800	801	7.031
	Mínimo	7,2	2.320	12.475	206	436
	Desv. Padrão	0,11	8.917	10.852	245	1.940

Na Fig. 9, pode-se observar a vista do biodigestor, instalado pelo PNMA II, em propriedade em Concórdia.



Fig. 9 - Vista do biodigestor, instalado pelo PNMA II, em propriedade em Concórdia.

Conclusão

O biodigestor embora remova a matéria orgânica e parte dos nutrientes, não deve ser visto como um sistema definitivo de tratamento anaeróbio dos dejetos de suínos e sim como parte de um processo de tratamento. Devendo seu efluente ser utilizado como fertilizante orgânico em propriedades que possuem disponibilidade de área agrícola ou passarem por tratamento final, para remoção de carga orgânica e nutrientes, antes de serem lançados em cursos d'água.

6.2 Utilização do biogás no aquecimento ambiental de creche para a produção de leitões

O trabalho foi conduzido em uma granja multiplicadora de suínos na região Oeste Catarinense (Oliveira & Mendes, 2006). Foram utilizados, 1.008 leitões, desmamados com idade média de 21 dias, oriundos de uma única unidade de produção e distribuídos em duas salas de creche, situadas na mesma edificação separadas por paredes de alvenaria. O período de experimentação foi de três semanas (21 dias), de 18 de novembro à 09 de dezembro de 2005. Avaliaram-se duas fontes de aquecimento (tratamentos): T1-Biogás (Aquecedor: Modelo BM2 GAN 100) e T2-GLP (Equipamento: câmpulas a gás GLP). Ambos os tratamentos foram observados no tempo e para cada tratamento subdividiram-se os leitões em quatro repetições (utilizou-se duas baias consecutivas por repetição, pois o comedouro situava-se entre duas baias servindo para ambas), totalizando 18 leitões por baia: 504 leitões por tratamento. Foram pesados individualmente os leitões e distribuídos em 3 grupos de pesos (blocos): leves, médios e pesados. Os leitões foram pesados no início do experimento (dia do desmame) e semanalmente até final do período de observação. A média de peso inicial dos leitões foi de 5,646 kg para o T1 (biogás) e de 5,654 kg para o T2 (GLP). Realizou-se jejum de ração (em torno de 9 horas) e de água (em torno de 2 horas) antes da pesagem, exceto para o dia do desmame. Registrou-se o consumo da ração, consumo de biogás (medidor modelo LAO-MG 16) e consumo de gás GLP por pesagem dos butijões de 13 kg utilizados. As temperaturas do ar no interior das salas de creche, foram registradas em dois pontos distribuídos dentro das salas como representativos do ambiente interno e para o registro da temperatura do ar externo, escolheu-se um local representativo do ambiente, sendo que estas temperaturas foram registrado a cada 30 minutos diariamente com um registrador Datalogger Modelo Testo 175. A umidade relativa do ar interna nas salas de creche, para os tratamentos T1 e T2, foram registradas a cada 30 minutos diariamente, em dois pontos diferentes no interior de cada sala (T1 e t2), com o uso de um registrador Datalogger Modelo Testo 175, sendo também a umidade relativa do ar no exterior registrada a cada 30 minutos diariamente.

Resultado

A temperatura média do ar externo as salas de creche, observada durante o período experimental foi de $22,3 \pm 4,43^{\circ}\text{C}$, com máxima $32,9^{\circ}\text{C}$ e mínima $11,1^{\circ}\text{C}$. Não houve efeito significativo ($p > 0,05$), em função das fontes de calor utilizadas, nos tratamentos T1 (biogás) e T2 (GLP) sobre do comportamento das temperaturas no ambiente interno nas salas de creche. Observou-se, que a temperatura ambiental média nas salas de creche durante o período experimental observado, foi para T1 de $25,9 \pm 2,92^{\circ}\text{C}$ e para T2 de $26,0 \pm 3,18^{\circ}\text{C}$, situando-se dentro da zona de neutralidade

térmica (Oliveira, 1999b) (Fig. 10). As temperaturas do ar ambiente na sala aquecida com biogás (T1), tiveram uma tendência de apresentarem um menor coeficiente de variação, quando comparado com GLP (T2). Observou-se também, que nos dias que a temperatura externa foi menor que 15°C, a temperatura ambiental na sala aquecida com biogás, manteve-se na faixa de conforto térmico para os leitões conforme faixa de temperatura definida por Oliveira (1999b), o que demonstra que o biogás é capaz de manter a temperatura ambiental adequada. A média da umidade relativa do ar ambiente, registrada no exterior da edificação de creche foi de $66,5 \pm 16,6\%$, com máxima 99% e mínima 25% (Fig. 10). As médias das umidades relativas do ar, observadas nos galpões de creche (Tratamentos T1 e T2), foram de $57,7 \pm 8,7\%$ e de $59,7 \pm 10\%$, respectivamente (Fig. 11). Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) nas umidades relativas do ar observadas no interior das salas de creche com o uso do Biogás e GLP, como fontes de calor para o aquecimento ambiental. O consumo de biogás, pelo aquecedor, observado foi de 22 ± 3 m³/hora durante o período de aquecimento e o consumo de GLP no período estudado foi de 238,55 kg (18,35 butijões). A conversão alimentar (CA) e o Ganho de Peso Médio Diário (GPMD), no período estudados não foram significativamente diferente ($p > 0,05$) para os tratamentos, sendo observado o resultado para CA de 1,503 e 1,453 e para o GPD de 267 e 268 g, respectivamente para o Biogás (T1) e o GLP (T2). Os dados observados para o GPMD e a CA estão de acordo com as características zootécnicas definidas por Oliveira (1999a). Como não observou-se diferença nos parâmetros CA e GPMD, para os tratamentos T1 e T2, podendo-se observar que o aquecimento do ambiente interno das salas de creche com biogás proporcionou as mesmas condições de conforto ambiental que o aquecimento com GLP.

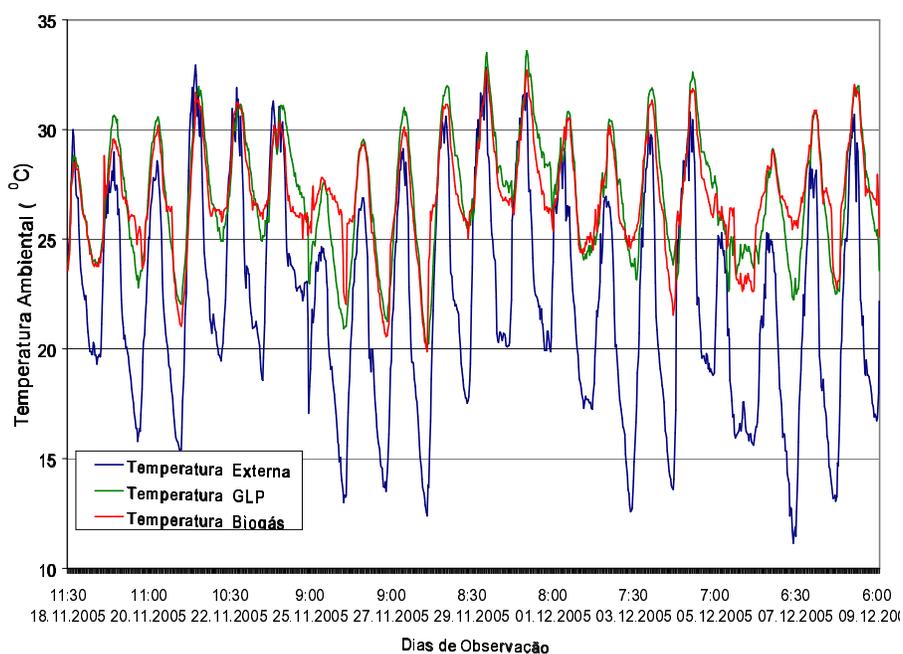


Fig. 10 - Comportamento das temperaturas do ar, externas e internas, nas salas de creche (Tratamentos biogás e GLP).

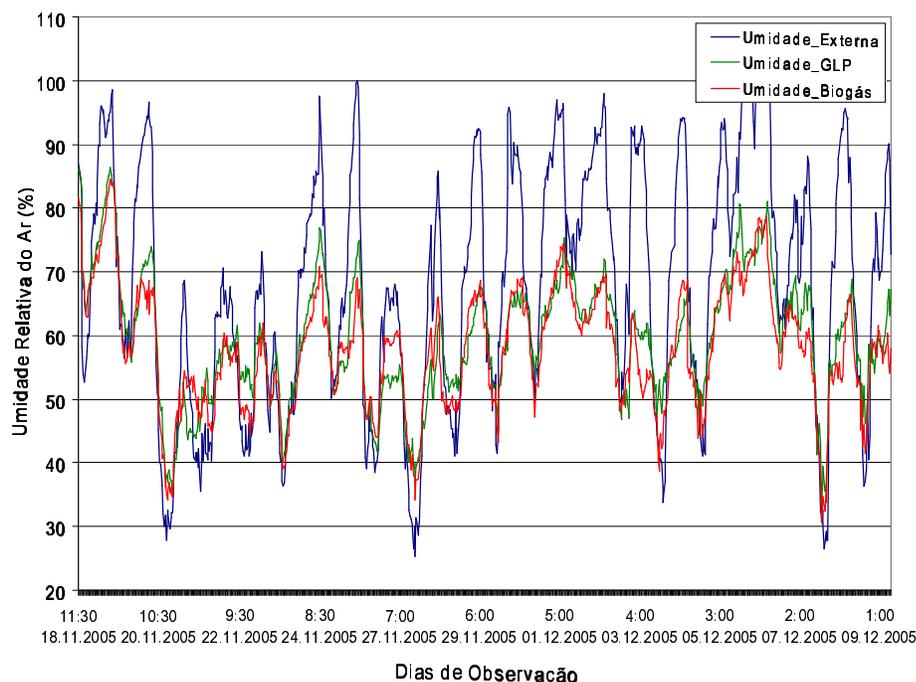


Fig. 11 - Comportamento da umidade relativa do ar, externas e internas, nas salas de creche (Tratamentos biogás e GLP).

Conclusão

Demonstrou-se a possibilidade de substituição do GLP usado como fonte de aquecimento ambiental das salas de creche, pelo Biogás, sem prejudicar o conforto ambiental e o desempenho zootécnico dos suínos criados em unidade de creche.

6.3 Uso do biogás para a produção de energia elétrica

Os sistemas de produção de suínos geram grandes quantidades de dejetos que podem ser tratados convertendo matéria orgânica em biogás, que é uma fonte alternativa de energia, para alimentação de motores acoplado a geradores de eletricidade. Salienta-se, porém, que apesar das perspectivas favoráveis, a utilização de biodigestores em propriedades rurais não foi bem difundida, devido a falta de conhecimento e de informações tecnológicas ao seu respeito.

Estudos desenvolvidos por La Farge (1995) e Bleicher (2000), que avaliaram a geração de energia elétrica com o uso do biogás, em propriedades produtoras de suínos, concluíram a viabilidade técnica e econômica deste tipo de geração de energia.

A geração de energia elétrica com o uso de biogás como combustível, pode ser dividida nas seguintes tecnologias disponíveis no momento, segundo (Oliveira, 2004a):

1- Conjunto gerador/ economizador de eletricidade

O sistema consiste em um motor de combustão interna Ciclo Otto (álcool, gasolina ou diesel) adaptado para o uso do biogás como combustível, acoplado a um motor assíncrono, de 2 ou 4 pólos, que passa a gerar energia ao ser conectado à rede de energia elétrica da concessionária local.

Neste caso o equipamento gera energia somente se estiver conectado à rede de distribuição da concessionária de energia elétrica, deixando de funcionar se a mesma sofrer interrupção, o que elimina possibilidades de acidentes quando técnicos estiverem trabalhando na manutenção nas redes elétricas externas. Neste caso a energia gerada é distribuída na propriedade e na rede externa até o transformador mais próximo.

O equipamento trata-se de um grupo gerador composto por um motor Wolkswagem 1.8 MI a biogás refrigerado por trocador de calor, com rotação de 3.600RPM, controlado por regulador eletrônico micro processado acoplado a um economizador assíncrono com potência de 30 kW, trifásico, sem escovas, dois pólos, tensão 220 V, 60 Hz, com capacidade para produzir 25 kVA de potencia elétrica (Fig. 12). O sistema já vem adaptado para funcionar a gás, sendo que o modelo adaptado para usar biogás difere dos demais apenas pelo acréscimo de um filtro para reter o ácido sulfúrico e o excesso de água presente no biogás.



Fig. 12 - Grupo economizador/gerador de energia elétrica com uso de biogás como combustível.

O motor fornece energia mecânica para o gerador que está acoplado a ele que por sua vez transforma a energia mecânica em energia elétrica. A vantagem do gerador síncrono, está no fato, que para o mesmo produzir energia, a rede deve estar energizada, e a energia é produzida na mesma freqüência, 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 (da propriedade) 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 somente em 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 a concessionária durante a maior parte do dia quando seu equipamento estiver funcionando. A concessionária poderia se beneficiar, desde que ficasse acordado, que o agricultor colocasse em operação o sistema nos horários pré-estabelecidos ou seja, de pico.

Em alguns países da comunidade europeia e também na Austrália existe legislação específica para a produção de energia de fonte renovável. Na Austrália por exemplo as concessionárias de energia elétrica deve contabilizar no mínimo 2% de energia de fonte renovável. Isto 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. A seu favor, a energia elétrica tem o fato de ser um tipo de energia, de fácil utilização e também, no caso, o biogás tem seu custo de produção bastante baixo.

Estudo desenvolvido por Zago (2003), avaliando o potencial de produção de energia através do biogás integrada, na região do meio oeste catarinense, concluiu que o consumo médio de energia nas propriedades é de (600 a 1.800 kWh/mês), tomando como base apenas a criação de suínos, (produção média de 50 m³ de biogás/dia), teoricamente a capacidade de gerar energia por propriedade é de 2.700 KVA/mês, o que equivale aproximadamente 2.160 kWh/mês. Com esta produção, as propriedades podem se tornar auto-suficientes em energia elétrica, adotando um sistema que seja capaz de gerar 25 KVA/h de potência elétrica.

O consumo de biogás observado gira entre 16 a 25 m³/hora no sistema gerador/motor estacionário para a geração de energia elétrica, dependendo da potência elétrica gerada. Uma propriedade, produtora de suínos, com capacidade de gerar de 80 a 100 m³/dia de biogás, poder transformar essa quantidade de biogás em energia elétrica, produzindo entre 120 a 150 KVAh/dia. Considerando que uma propriedade gaste em média 1.000 kWh/mês, teria uma capacidade ociosa em torno de 3.000 kVAh/mês, isso com o conjunto trabalhando 6 horas/dia, em média. Para viabilizar o investimento o agricultor teria que encontrar formas de gastar este excesso de energia produzida, ou vender o excesso para a concessionária de energia, o que tecnicamente é possível.

Segundo estimativas, o empreendimento passa ser viável economicamente quando a propriedade possui capacidade de produção de 200 m³/dia de gás, o que gera uma produção aproximada de 300 kVAh/dia (ZAGO, 2003). Como a grande maioria dos suinocultores não se enquadra nestas condições, para este tipo de empreendimento os equipamentos poderiam ser adquiridos em forma de cooperativas de produtores. Gerando neste caso uma situação onde todos sairiam ganhando. Os suinocultores como uma forma de agregar valores a sua produção, como mais uma fonte de renda; o governo como alternativa em momentos de crise do setor energético; ao meio ambiente pela redução da poluição.

2- Conjunto gerador de eletricidade

O conjunto consiste em um motor de combustão interna Ciclo Otto (álcool, gasolina ou diesel) adaptado para o uso do biogás como combustível, acoplado a um gerador de eletricidade, independente da rede de energia elétrica da concessionária local. Neste caso, o conjunto é independente da rede de energia elétrica local, gerando energia dentro de propriedade com o sistema de distribuição interno isolado.

Segundo La Farge (1995), nas instalações de biodigestores existentes na França, que geram energia elétrica os geradores predominam em 100% das instalações.

Os geradores de eletricidade, no Brasil, já são conhecidos a muito tempo e seu uso é estabelecido em normas técnicas específicas.

Na Fig. 13 encontra-se um exemplo de um grupo gerador de energia elétrica com uso de biogás como combustível.



Fig. 13 - Grupo gerador de energia elétrica com uso de biogás como combustível.

6.3.1 Experiência do projeto na utilização de biogás para cogeração de energia elétrica/calor

No âmbito do Projeto Suinocultura SC, foi selecionado um produtor de suínos para a implantação do sistema de produção de biogás com cogeração de energia elétrica e calor na bacia hidrográfica do rio Coruja/Bonito, esta propriedade é uma unidade de produção de leitões - UPL, com 200 matrizes, com volume diário de dejetos estimado em 12 m³. A propriedade também possui uma pequena fábrica para a produção de rações. No projeto para um melhor aproveitamento dos dejetos para a geração de biogás recomendou-se a adoção da mínima quantidade de água possível para limpeza das baias, com raspagem periódica dos dejetos acumulados no piso compacto. Tal critério de manejo determinou o enquadramento do empreendimento em um nível ótimo, enquanto poupador de água e conseqüentemente gerador de baixas vazões diárias de dejetos com concentração estimada entre 4 a 6% de Sólidos Totais (40 a 60 kg/m³). O terreno escolhido possibilitou a locação do Biodigestor e de unidades coletoras dos dejetos com a finalidade de facilitar as condições de manejo e transporte, fluxo de pessoal, máquinas e insumos. O local apresenta bom nível de isolamento, fácil acesso por estrada geral cascalhada com boas condições de trânsito em qualquer época do ano.

Os dejetos gerados pelos suínos na UPL, são conduzidos em tubos com diâmetro mínimo 150 mm (PVC) para uma caixa de homogeneização de fluxo, obtendo-se um tempo de residência hidráulico estimado de 35 dias. O biodigestor, foi revestido internamente com vinimanta de PVC 800 micras e o reservatório de gás (gasômetro) revestido com cobertura de vinimanta de PVC 1.000 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 d'água, para remoção de umidade, até a edificação onde foi instalado um conjunto gerador de eletricidade. O vapor d'água que normalmente se desenvolve no processo de digestão anaeróbia se condensa 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.

Foi instalado um conjunto gerador de eletricidade trifásico (220/380 VAC) (modelo KOHLBACH), 3.600 RPM, 60 hz, com capacidade nominal de geração de

50KVA (44 KVA contínuo), Controle de Rotação Eletrônico do tipo isócrono com controle por sensor eletromagnético e proteção contra sub e sobrevelocidade, Motor VOLKSWAGEN, AP2000 – 4 cilindros/8 válvulas, adaptada para uso com biogás e refrigerado por trocador de calor com aproveitamento da água de refrigeração do motor para geração de água quente. O consumo observado de biogás para o conjunto em operação normal situou-se entre 20 a 25 m³/hora.

A propriedade possui uma pequena fabrica de rações que possui os seguintes equipamentos: motores elétricos com potência instalada, triturador 15 CV e misturador de rações 7,5 CV. A propriedade possui ainda uma bomba para lavagem das instalações Potência 3,5 CV, bomba d'água Potência 1,5 CV, bomba para ordenha 3 CV, bomba para transporte de dejetos 5 CV, totalizando uma Potência instalada de 35,5 CV, estimando-se um consumo de aproximadamente 28 Kwh, com todos os equipamentos operando.

Na unidade de maternidade o aquecimento dos leitões é por lâmpadas de 100 W, totalizando um conjunto de 30 lâmpadas, 5 Kwh. Na creche também o aquecimento das baias é por 25 lâmpadas elétricas de 100 W, totalizando 2,5 Kwh. A carga elétrica estática total instalada na propriedade é de aproximadamente 30,5 Kwh.

Na Fig. 14, encontra-se o modelo do conjunto Motor/Gerador (50 KVA), que foi instalado para a geração de energia elétrica tendo como fonte de combustível o biogás.



Fig. 14 - Conjunto Motor/Gerador, instalado pelo PNMA II, usado para a cogeração de energia elétrica e calor.

Na Fig. 15, pode-se observar o biodigestor de 300m³ de biomassa implantada na propriedade, com geração estimada de 150 m³ de biogás por dia e o conjunto motor/gerador de eletricidade. Este modelo foi escolhido com o objetivo de produzir biogás com baixo custo de instalação e facilidade de operação, manejo e manutenção, não requerendo mão-de-obra especializada.



Fig. 15 - Biodigestor implantado na propriedade pelo PNMA II.

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 e que no ponto mais distante do sistema (150 m) a queda de energia verificada não ultrapassa a 1,5%. 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 atingiu 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.

Conclusão

Demonstrou-se 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 de 100 w, usadas no aquecimento ambiental de leitões, nas salas de maternidade e creche.

Demonstrou-se a possibilidade de geração de água quente, através da cogeração, com a finalidade de utilização na limpeza e higienização das edificações para a produção de suínos.

7 CONCLUSÕES GERAIS

O biodigestor instalado em propriedades produtoras de suínos, quando manejado adequadamente pode produzir biogás com uma eficiência de produção variando entre 0,35 à 0,60 m³ de biogás por m³ de biomassa.

Para uma produção economicamente aceitável de biogás o manejo dos dejetos na unidade produtora de suínos deve buscar obter a maior concentração possível de Sólidos Voláteis e evitar o desperdício de água.

O biogás pode substituir o GLP usado como fonte de aquecimento ambiental de aviários e salas de creche, sem prejudicar o conforto ambiental e o desempenho zootécnico dos animais.

O biogás produzido diariamente, pelos dejetos gerados por 400 suínos na fase de crescimento e terminação é capaz de gerar energia térmica suficiente para aquecer o ambiente interno de um aviário, mantendo a temperatura na faixa de conforto térmico, para a produção de 14.400 frangos de corte.

Demonstrou-se a possibilidade de substituição do GLP usado como fonte de aquecimento ambiental das salas de creche, pelo Biogás, sem prejudicar o conforto ambiental e o desempenho zootécnico dos leitões criados em unidade de creche.

O biodigestor embora remova a matéria orgânica e parte dos nutrientes, não deve ser visto como um sistema definitivo de tratamento anaeróbio dos dejetos de suínos e sim como parte de um processo de tratamento. Devendo seu efluente ser utilizado como fertilizante orgânico em propriedades que possuem disponibilidade de área agrícola ou passarem por tratamento final, para remoção de carga orgânica e nutrientes, antes de serem lançados em cursos d'água.

Os microorganismos produtores de metano são muito sensíveis a variações de temperatura, recomenda-se o aquecimento da biomassa e o isolamento térmico da câmara de digestão, principalmente nos estados do Sul do Brasil, pois nos meses de inverno é que ocorre uma maior demanda por energia térmica e uma tendência dos biodigestores em produzirem volumes menores de biogás.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOU NOHRA, J.; BARRINGTON, S.; FRIGON, J. C.; GUIOT, S. R. In storage psychrophilic anaerobic digestion of swine slurry. **Resources Conservation and Recycling**, v.38, p.23-37, 2003.

ABREU, P. G., BAETA, F. da C. ; ABREU, V. M. N. ; SOARES, P. R. ; PERDOMO, C. C. ; SILVA, M. de A. Desempenho produtivo e bioeconômico de frangos de corte criados em diferentes sistemas de aquecimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.1, p.159-167, 2000.

ADLER, M. J. (Ed.) **International anthropogenic methane emissions: estimates for 1990**. Washington: United States Environmental Protection Agency, Office of Policy Planning and Evaluation, 1994. 24p.

AL SEADI, T.; MØLLER, H. B. Separation of slurry – a potential option fo the Animal Production sector. In: EUROPEAN BIOGAS WORKSHOP, 2003, Esbjerg. **Proceedings**. Esbjerg: University of Southern Denmark, 2003. p.32-43.

AXAOPOULOS, P. ; PANAGAKIS, P. Energy end economic analysis of biogas heated livestock buildings. **Biomass and Bioenergy**, v.24, p.239-248, 2003.

AXAOPOULOS, P.; PANAGAKIS, P.; TSAVDARIS, A.; GEORGAKAKIS, D. Simulation and experimental performance of a solar-heated anaerobic digester. **Solar Energy**, v.70, n.2, p.155-164, 2001.

BALESTIERI, J. A. P. **Cogeração: geração combinada de eletrecidade e calor**. Florianópolis, Ed. UFSC, 2002. 279p.

BATZIAS, F. A; SIDIRAS, E. K.; SPYROU, E. K. Evaluating livestock manures for biogas production: a GIS based method. **Renewable Energy** , v.30, p.1161-1176, 2005.

BENINCASA, M., ORTOLANI A. F. ; JUCAS JUNIOR J. **Biodigestores convencionais?** 2.ed. Jaboticabal: UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, 1991. 25 p.

BLEICHER, J. **Do lixo ao luxo: estudo de caso de um sistema de tratamento total de dejetos da suinocultura na Austrália**. Concórdia: EPAGRI, 2000. 12p.

BONAZZI, G. **Manuale per l'utilizzazione agronomica degli effluenti zootecnici**. Reggio Emilia: Centro de Ricerche Produzioni Animali – CRPA, 2001. 320p. Edizioni L'Informatore Agrario.

CENTRO PARA A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA. **Guia técnico de biogás**. Amadora, Portugal: AGEEN – Agência para a Energia, 2000. 117p.

CHERNICHARO C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: biodigestores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 1997. v. 5, 246p.

COMMISSION INTERNATIONALE DU GÉNIE RURAL. **Report of working group on climatisation of animal houses**. 2.ed. Belgium S.F.B.I.U., 1992. 147p.

CRUZ, V. M. F.; SOUSA, P. Analysis of methodologies estimation of animal heat and moisture production. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERIA AGRICA, Costa Rica, 2004. **Anais**....Costa Rica: 2004. p.57-61.

DEMIRCI, G. G.; DEMIRER, G. N. Effect of initial COD concentration, nutrient addition, temperature and microbial acclimation on anaerobic treatability of broiler and cattle manure. **Bioresource Technology**, v.93, p.109-117, 2004.

DOHANYOS, M.; KOSOVA, B.; ZABRANSKA, J. ; GRAU, P. Production and utilization of VFA's in various types of anaerobic reactors. **Water Science and Technology**, v.17, p.191–205, 1985.

EMBRAPA SUÍNOS E AVES. **Diagnóstico das propriedades suinícolas da região de abrangência do consorcio Lambari, SC**: relatório preliminar. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2003. 33p. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 84).

ENERGIAHP. **Biodigestores e o biogás**. Disponível em:<<http://www.energiahp.hpg.ig.com.br/>>. Acesso em: 06 fev. 2003.

GASA-FCT. **Emissão e controlo de gases com efeito de estufa em Portugal**. Disponível em: <<http://gasa3.dcea.fct.unl.pt/gee/25feb/documentos.html>> . Acesso em: 06 abr. 2000.

GUYOT, G. **Climatologie de L'environnement** : de la plante aux écosystemes. [S.l.] : Ed. Masson, 1997. 505p.

HAVEN, R. P. J. M.; GREGERSEN, K. H. Biogas plants in Denmark: successes and setbacks. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.1, p.1-18, 2005.

INSTITUTO CEPA. **Elaboração do Levantamento Agropecuário Catarinense - LAC**. Florianópolis: Instituto Cepa / Secretaria de Estado da Agricultura e Política Rural, 2005. 40p.

INSTITUT TECHNIQUE DU PORC. **Memento de l'éleveur de porc**. Paris : ITP, 2000. 374p.

Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC. Guidelines for national greenhouse gas inventories, 2006. Volume 4: Agriculture Forestry and land use (Afolu). (www.ipcc.ch).

KELLERHER, B. P.; LEAHY, J. J.; HENIHAN, A M.; O'DWYER, T. F. SUTTON, D.; LEAHY, M. J. Advances in poultry litter disposal technology: a review. **Bioresource Tecnology**, v.83, p.27-36, 2002.

KERMARREC, C. ; ROBIN, P. ; BERNET, N. ; TROLARD, F. ; OLIVEIRA, P. A. V. de ; LAPLANCHE, A. ; SOULOUMIAC, D. Influence du mode de ventilation des litières sur les émissions gazeuses d'azote NH₃, N₂O, N₂ et sur le bilan d'azote en engraissement porcin. **Agronomie**, v.18, p.473-488, 1998.

KUNZ, A.; PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V. de Biodigestores: avanços e retrocessos. **Suinocultura Industrial**, v.26, n.4, p.14-16, 2004.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. de; HIGARASHI, M. M. **Biodigestor para o tratamento de dejetos de suínos: influência da temperatura ambiente**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2005. 5p. (Embrapa Suínos e Aves. Comunicado Técnico, 416).

LA FARGE, B. de. **Le biogaz: procédés de fermentation méthanique**. Paris: Masson, 1995. 237p.

INSTITUTO CEPA. **Levantamento agropecuário de Santa Catarina**. Florianópolis, SAR/ Instituto CEPA, 2005, 40p.

LIMA, M. A. de; CABRAL, O. M. R.; MIGUEZ, J. D. G. **Mudança climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. 397p.

LUCAS JR., J. **Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios**. 1994. 113p. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

MAGBANUA JUNIOR, B. S.; ADAMS, T. T.; JOHNSTON, P. Anaerobic codigestion of hog and poultry waste. **Bioresource Technology**, v.76, p.165-168, 2001.

MARTINEZ, J.; GUIZIOU, F.; PEU, P.; GUEUTIER, V. Influence of treatment techniques for pig slurry on methane emissions during subsequent storage. **Biosystems Engineering**, v.85, n.3, p.347-354, 2003.

MASSÉ, D. I.; MASSE, L. The effect of temperature on slaughterhouse wastewater treatment in anaerobic sequencing batch reactors. **Bioresource Technology**, v.76, p.91-98, 2001.

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, p.57-62, 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, p.485-495, 2004.

MURPHY, J. D.; McKEOGH, E. The benefits of integrated treatment of wastes for the production of energy. **Energy**, v.1, p.1-17, 2005.

NASCIMENTO, E. F.; LUCAS JUNIOR, J. Biodigestão anaeróbia do estrume de suínos: produção de biogás e redução de sólidos em cinco tempos de retenção hidráulica. **Energia na Agricultura**. v.10, n.14, p.21-31, 1995.

OLIVEIRA, P. A. V. de. (Ed.). **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPISA, 1993a. 188p. (EMBRAPA-CNPISA. Documentos, 27).

OLIVEIRA, P. A. V. **Comparaison des systèmes d'élevage des porcs sur litière de sciure ou caillebotis intégral**. 272p., 1999a. Thèse (Docteur) - l' ENSA de Rennes, France. (N°:99-24, D-32).

OLIVEIRA, P. A. V. de, Qualidade do ambiente no crescimento de leitões. In: SILVA, I.J.O. da (Ed) **Ambiência e qualidade na produção industrial de suínos**. Piracicaba: FEALQ, 1999b. p.131-148.

OLIVEIRA, P. A. V. de, Impacto ambiental causado pela suinocultura. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ZOOTECNIA, 5., 2003, Uberaba, MG. **Anais...** Uberaba: ABCZ / ABZ / FAZU, 2003a. p.142-161.

OLIVEIRA, P. A. V. de, Modelo matemático para estimar a evaporação d' água contida nos dejetos, em sistemas de criação de suínos sobre cama de maravalha e piso ripado, nas fases de crescimento e terminação. **Journal of the Brazilian Society of Agricultural Engineering**, v.23, n.3, p.398-626, 2003b.

- OLIVEIRA, P. A. V. de. Produção e aproveitamento do biogás. In: OLIVEIRA, P.A.V. de. **Tecnologia para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas praticas**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004a. Cap. 4, p.43-55.
- OLIVEIRA, P. A. V. de. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004b. 109 p. (Programa Nacional do Meio Ambiente - PNMA II).
- OLIVEIRA, P. A. V. de. Potencial de produção e utilização de biogás na avicultura comercial. In: ENCONTRO DE AVICULTORES DO ESTADO DE SAO PAULO, 27.; JORNADA TÉCNICA, 24., 2001, Bastos, SP. **Anais...** Bastos: Sindicato Rural de Bastos, 2001. p.16-28.
- OLIVEIRA, P. A. V. de, Programas eficientes de controle de dejetos na suinocultura. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE SUINOCULTURA, 1.; CONGRESSO DE SUINOCULTURA DO MERCOSUL, 3.; CONGRESSO DA ALVEC, 9., 2002, Foz do Iguaçu, PR. **Anais das palestras...** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2002. p.143-158.
- OLIVEIRA, P. A. V. de. Influência da temperatura na produção de biogás. In: REUNIÃO SOBRE A INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA BIODIGESTÃO ANAERÓBICA, 1., 1983, Santa Maria. **Anais...**Santa Maria: UFSM,1983. p.32-38.
- OLIVEIRA, P. A. V. de. **Projeto de biodigestores e estimativa de produção de biogás em sistema de produção**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2005. 8p. (Embrapa Suínos e Aves. Comunicado Técnico, 417).
- OLIVEIRA, P. A. V. de; HIGARASHI, M. M.; NUNES, M. L. A. Efeito estufa. **Suinocultura Industrial**, v.25, n.7, p.16-20, 2003.
- OLIVEIRA, P. A. V. de; HIGARASHI, M. M.; MATEI, R. M.; MENDES, G. L. Uso dos resíduos de sistema de crescimento e terminação de suínos para a produção de biogás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE VETERINARIOS ESPECIALISTAS EM SUÍNOS, 12., 2005, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, ABRAVES, 2005. p.512-513.
- OLIVEIRA, P. A. V. de; HIGARASHI, M. M. Utilização do biogás no aquecimento ambiental de aviário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Sbea, 2006, 4p. 1 CD-ROM.
- OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M.; MATTEI, R. M. Biodigestor como unidade de tratamento dos dejetos de suínos. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE SUINOCULTURA, 3; 2006, Foz do Iguaçu. **Anais...** Campinas: Editora Animal/World. 1 CD-ROM.
- OLIVEIRA, P. A. V.; MENDES, A.S. Utilização de diferentes fontes artificiais de calor (biogás x glp), sobre o conforto ambiental e desempenho de leitões na recria. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE SUINOCULTURA, 3; 2006, Foz do Iguaçu. **Anais...** Campinas: Editora Animal/World. 1 CD-ROM.
- OLIVEIRA, P. A. V. de; OTSUBO, C. S. Sistema simples para produção de biogás com o uso de resíduos de suínos e aves. **Gerenciamento Ambiental**, v.4, n.19, p.12-15, 2002.
- OLIVEIRA, P. A. V. de, SOULOUMIAC, D. ; ROBIN, P. ; KERMARREC, C., Comparaison des productions de chaleur en engraissement de porcs sur litiere de sciure ou sur caillebotis integral. **Annales de Zootechnie**, v.48, p.117-129, 1999.

PAILLAT, J. M.; ROBIN, P.; HASSOUNA; LETERME, P. **Effet du compostage de fluents porcins sur les émissions gazeuses et les teneurs en éléments polluants**. Rennes : NRA, Centre de Recherches de Rennes, UMR Sol Agronomie Spatialisation, 2005. 106 p. Rapport Final.

PARKIN, G. F.; OWEN, W. F. Fundamentals of anaerobic digestion of wastewater sludges. **Journal of Environmental Engineering**, v.112, n.5, p.867–920, 1986.

PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V. de; KUNZ, A. **Sistemas de tratamento de dejetos suínos: inventário tecnológico**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2003. 83p. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 85).

ROBIN, P.; SOULOUMIAC, D.; OLIVEIRA, P. A. V. de. Misting systems for poultry - dimension and applications. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE AMBIÊNCIA E SISTEMAS DE PRODUÇÃO AVÍCOLA, 1998, Concórdia. **Anais...** Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1998. p.84-95.

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, p.335-344, 2005.

SANTOS, T. M. B. dos. **Balço energético e adequação do uso de biodigestores em galpões de frangos de corte**. 2001. 179p.. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, Jaboticabal.

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**. Florianópolis: EPAGRI, 1996, 46p. (EPAGRI. Boletim Técnico, 79).

SILVA, R. G. Trocas térmicas em Aves. **Ambiência na Produção de Aves em Clima Quente**, vol1. Ed. Iran José Oliveira da Silva – Piracicaba – SP, 2001, p.88 - 124.

SOULOUMIAC, D. Etude des microclimats réalisables dans des enceintes énergétiquement autonomes soumises à des flux de chaleur d'origine métabolique. **Thèse de Doctorat**, de l' Institut National Agronomique Paris-Grignon, 1995, 191p.

SOUZA, C. F. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos: obtenção de dados e aplicação no desenvolvimento de um modelo dinâmico de simulação da produção de biogás**. 2001. 140 p. Tese (Doutorado em Zootecnia - Produção Animal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

SOUZA, C. F., LUCAS JUNIOR J. e FERREIRA, W. P. M. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato - considerações sobre a partida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais**. Salvador: Sbea, 2002. p.102-108.

VAN LIER, J. B.; SANZ MARTIN, J. L.; LETINGA, G. Effect of temperature on anaerobic thermophilic conversion of volatile fatty acids by and granular sludge. **Water Research**, v.30, p.199-207, 1996.

VISSER, A.; GAO, Y.; LETINGA, G. Effects of short-term temperature increase on the mesophilic anaerobic breakdown of sulfate containing synthetic wastewater. **Water Research**, v.27, p.541-5501, 1993.

YADVIKA, S.; SREEKRISHNAN, T. R.; KOHLI, S.; RANA, V. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques: a review. **Bioresource Technology**, v.95, p.1-10, 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.** 2003, 103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

ZAHN, J. A.; HATTFIELD, J. L.; LAIRD, D. A.; HART, T. T.; DO, Y. S.; DISPIRITO, A. A. Functional Classification of swine manure management systems based on effluent and gas emission characteristics. **Journal of Environment Quality**, v, 30, p.635-647 , 2001.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA
PROGRAMA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE II – PNMA II
PROJETO CONTROLE DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DECORRENTE DA SUINOCULTURA EM
SANTA CATARINA

COORDENAÇÃO ESTADUAL



Secretaria de Estado do
Desenvolvimento Sustentável

EXECUTORA



Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento



CO-EXECUTORES



Secretaria de Estado da
Agricultura e Política Rural



PARCEIROS

ACCB/SUL – Associação Catarinense dos Criadores de Bovinos de Santa Catarina, ACCS/SUL - Associação Catarinense dos, Criadores de Suínos de Santa Catarina, Colégio Espaço Ltda, EAFC - Escola Agrotécnica Federal de Concórdia, UnC – Universidade do Contestado, UNOESC – Universidade do Oeste de Santa Catarina, UNISUL – Universidade do Sul de Santa Catarina, UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Copérdia – Cooperativa de Produção e Consumo Concórdia Ltda, Sadia S.A., Prefeitura Municipal de Concórdia através da FUNDEMA – Fundação Municipal de Defesa do Meio Ambiente, PMBN – Prefeitura Municipal de Braço do Norte, SRBN – Sindicato Rural de Braço do Norte, STRBN - Sindicato dos Trabalhadores Rurais de Braço do Norte SC, GEASC – Grupo Ecológico Ativista Sul Catarinense, 20ª GEREI – Gerência Regional de Educação de Braço do Norte SC, CINCRESC – Centro Integrado de Ciências da Região Sul de Santa Catarina.