

UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL – CAMPUS CERRO LARGO
PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM DESENVOLVIMENTO RURAL
SUSTENTÁVEL E AGRICULTURA FAMILIAR

FABIANA MATZE DA SILVA

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM BIODIGESTOR
CANADENSE MODIFICADO NO TRATAMENTO DE DEJETOS DE
SUÍNOS.

Cerro Largo, RS
2013

Banca examinadora:

Bruno München Wenzel: Graduado em Engenharia Química pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2005) e mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, 2008). Aluno de doutorado em Engenharia Química (UFRGS), (Orientador);

Tatiane Chassot: Graduada em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria (2008) e mestrado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria (2009).

Rodrigo Prante Dill: Graduado em Administração pela Universidade de Cruz Alta/RS (2000). Mestre em Administração pela Universidade Federal de Santa Catarina (2005). Doutorando em Administração na Universidade Federal de Santa Catarina - CPGA/UFSC.

Evandro Pedro Schneider: Graduado em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas (2005), Mestrado em Agronomia (2009) e doutorado (2012).

Iara Denise Endrueit Battisti: Graduada em Informática pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (1996), mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária pela Universidade Federal de Lavras (2001) e doutorado em Epidemiologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2008). FABIANA MATZE DA SILVA

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM BIODIGESTOR
CANADENSE MODIFICADO NO TRATAMENTO DE DEJETOS DE
SUÍNOS.

Monografia do Curso de Pós-Graduação
Lato Sensu em Desenvolvimento Rural
Sustentável e Agricultura Familiar da
Universidade Federal da Fronteira Sul –
UFFS, Campus Cerro Largo.

Orientador: Profº. Msc. Bruno Münchem
Wenzel

.

Cerro Largo, RS
2013

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no curso de Pós graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável e Agricultura Familiar, na Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus de Cerro Largo, sob orientação do Profº. Ms. Bruno München Wenzel, da Universidade Federal da Fronteira Sul.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e esposo, pelo apoio que sempre me deram enquanto realizava este trabalho, bem como, pela compreensão, carinho e amor que me transmitiram nos momentos em que precisei.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus e N^a Sr^a Aparecida pela proteção e coragem que me deu sempre que achava que não iria conseguir.
Aos meus pais por todo carinho, amor e dedicação nos momentos em que estava desanimada e precisando de um apoio.
Ao prof. orientador Bruno München Wenzel pela atenção e dedicação que demonstrou todas as vezes que o procurava para pedir orientação.
Aos bolsistas Allan Aires e Verônica Castro graduandos do Curso de Engenharia Ambiental pela ajuda e compreensão nos dias de coleta.
A Escola Técnica Cruzeiro do Sul por entender minha ausência durante o período em que realizei meu trabalho.
Ao meu esposo e amigo Ivan Jacson Preuss, por entender minha ausência no período em que desenvolvi o trabalho.
E a todos que de uma força ou de outra estiveram presentes para o bom desenvolvimento deste trabalho.
O meu MUITO OBRIGADA a todos.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Produção diária de resíduos líquidos e esterco de diversos animais.....	16
Tabela 02: Produção média diária de dejetos por diferentes categorias de suínos.....	16
Tabela 03: Cálculo da geração de dejetos (fezes + urina), total de efluente e tempo de residência no biodigestor da granja alvo do estudo.....	27
Tabela 04: Caracterização do efluente tratado no biodigestor (entrada e saída)	28
Tabela 05: Eficiências percentuais de remoção de ST, SV e DQO no biodigestor	29
Tabela 06: Condições operacionais do biodigestor e estimativa da produção de metano de acordo com o modelo de Chen (1983).....	30
Tabela 07: Redução percentual de sólidos no biodigestor.....	32
Tabela 08: Nutrientes presentes nas correntes do biodigestor.....	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Vista lateral e superior de um biodigestor modelo indiano	21
Figura 2: Biodigestor modelo chinês	22
Figura 3: Biodigestor modelo canadense	22
Figura 4: Modelo canadense modificado	23
Figura 5: Fotografia do biodigestor instalado na propriedade	24

LISTA DE SIGLAS

APHA- Standard Methods for the examination of water and wastewater.

OD- Oxigênio Dissolvido

DBO- Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO- Demanda Química de Oxigênio

ST- Sólidos Totais

SVT- Sólidos Voláteis Totais

N- Nitrogênio

P- Fósforo

K- Potássio

RESUMO

Do ponto de vista econômico e social, a suinocultura é uma atividade importantíssima para pequenas e médias propriedades rurais constituindo uma ferramenta de fixação do homem no campo além de geração de empregos diretos e indiretos em toda a cadeia produtiva. O Brasil é o único país da América Latina que se encontra na lista dos 10 maiores produtores mundiais de carne suína, sendo responsável por 7,5% das exportações mundiais. Na região Sul, encontra-se 42,87% do rebanho nacional (CUNHA, 2007). A estabilização dos dejetos suínos por meio de biodigestores tem merecido destaque, em função dos aspectos sanitários bem como dos potenciais na geração de energia renovável, além de oferecer condições econômicas de reciclagem orgânica e de nutrientes (RIZZONI, 2012). Os dados relatados no presente trabalho foram obtidos a partir da coleta de amostras em uma propriedade rural, localizada no interior do município de São Pedro do Butiá. A propriedade é destinada ao sistema designado como UPL – unidade de produção de leitões, a qual possui, aproximadamente, 2544 animais, contando fêmeas em lactação, leitões e machos. A unidade possui galpões divididos em “creche”, maternidade e salas de gestação. Os resultados evidenciaram uma elevada diluição do efluente, em comparação com dados apresentados na literatura. Foi estimado um tempo de residência de 20,2 dias e foram observadas elevadas eficiências de remoção de DQO e sólidos voláteis – de 72,8 e 56,9 %, respectivamente. Com isto um pré-tratamento do efluente, visando aumentar a quantidade de sólidos dissolvidos pode ser capaz de aumentar a velocidade global de transformação no biodigestor.

Palavras-chave: Suínos, Sistema de tratamento de dejetos, Biodigestor.

ABSTRACT

From the standpoint of economic and social, the pig is an important activity for small and medium farms constituting a tool for keeping people in the field as well as generating direct and indirect jobs throughout the supply chain. Brazil is the only Latin American country that is among the 10 largest producers of pork, accounting for 7.5% of world exports. In the South, is 42.87% of the national herd (CUNHA, 2007). The stabilization of pig manure digesters through has been highlighted, depending on the health aspects as well as the potential in renewable energy generation, besides offering economic conditions of organic and nutrient recycling (RIZZONI, 2012). The data reported in this article was obtained from the sampling in a rural property located within the municipality of São Pedro do Butia. The property is intended for system designated as UPL - piglet production unit, which has approximately 2544 animals, counting lactating females, males and piglets. The unit is divided into sheds "nursery", maternity and pregnancy rooms. The results showed a high dilution of the effluent compared with data reported in literature. It has been estimated residence time of 20.2 days and were observed high removal efficiencies of COD and volatile solids - 72.8 and 56.9%, respectively. With this pre-treatment of the effluent to increase the amount of dissolved solids may be able to increase the overall speed of processing in the digester.

Keywords: Swine manure treatment system, digester.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Tipos de Tratamento de dejetos de suínos.....	17
2.1.1 Tratamento físico.....	17
2.1.2 Tratamento biológico.....	17
2.1.3 Biodigestão.....	18
2.1.4 Biodigestores.....	20
3 METODOLOGIA	24
3.1. Descrição Geral da Granja	24
3.2. Biodigestor	24
3.3. Procedimento para a estimativa da vazão de efluente e tempo de residência	25
3.4. Coleta das amostras e caracterização	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
4.1. Vazão de Efluente e Tempo de Residência	27
4.2. Caracterização do afluente e efluente do Biodigestor	28
4.3. Estimativa da produtividade de gás e de biomassa no biodigestor	29
4.3.1. Estimativa de produção de metano – Modelo cinético de Chen (1983)	29
4.3.2. Balanço de massa para o cálculo da quantidade de biomassa (lodo) produzida no biodigestor	31
4.4. Sólidos no Biodigestor	32
4.5. Nutrientes	33
5 CONCLUSÕES	35
6 BIBLIOGRAFIA	36

1. INTRODUÇÃO

Do ponto de vista econômico e social, a suinocultura é uma atividade importantíssima para pequenas e médias propriedades rurais constituindo uma ferramenta de fixação do homem no campo além de geração de empregos diretos e indiretos em toda a cadeia produtiva. O Brasil é o único país da América Latina que se encontra na lista dos 10 maiores produtores mundiais de carne suína, sendo responsável por 7,5% das exportações mundiais. Na região Sul, encontra-se 42,87% do rebanho nacional (CUNHA, 2007).

Com esse crescente desenvolvimento da população de suínos no Brasil, chegando a 36,5 milhões de animais alojados, com uma perspectiva de crescimento para os próximos anos assim como a implantação de novos projetos no setor suínico, é necessário a implantação de métodos e técnicas para melhor manejar, tratar, estocar, utilizar e dispor os resíduos, dentro do sistema de produção, com o objetivo da manutenção da qualidade ambiental, reutilização dos resíduos em outros sistemas agrícolas e maior rentabilidade na produção (SOUZA, 2005).

A estabilização dos dejetos suínicos por meio de biodigestores tem merecido destaque, em função dos aspectos sanitários bem como dos potenciais na geração de energia renovável,

além de oferecer condições econômicas de reciclagem orgânica e de nutrientes (RIZZONI, 2012).

Os biodigestores são equipamentos utilizados para desenvolver o processo de biodigestão anaeróbia. É neste local que ocorre a fermentação da biomassa, podendo ser um tanque, uma caixa, ou uma vala revestida e coberta por um material impermeável. O importante é que, com exceção dos tubos de entrada e saída, o biodigestor é totalmente vedado, criando um ambiente anaeróbio (sem a presença de oxigênio) onde os microrganismos degradam o material orgânico, transformando-o em biogás e biofertilizante (TORRES, 2012).

Avaliações preliminares dos dejetos de suínos em granjas na região de Cerro Largo (dados não publicados) têm mostrado que os mesmos apresentam características (físicas, químicas e biológicas) diferentes dos apresentados na literatura, principalmente nos trabalhos desenvolvidos pela EMBRAPA (OLIVEIRA, 2006). As principais diferenças dizem respeito a uma menor diluição nas criações experimentais desenvolvidas na EMBRAPA. As criações comerciais, normalmente realizadas em comodato com empresas abatedoras, são submetidas aos sistemas de criação padrão dos abatedouros, o que acaba proporcionando maiores diluições. 14

Neste contexto, o presente trabalho objetiva avaliar o desempenho do processo de biodigestão anaeróbia em um efluente típico da região. Foi selecionada uma granja que possui um biodigestor modelo canadense modificado (o modelo mais utilizado no Brasil, segundo Cortez et al., 2008). Esta avaliação consistiu na determinação de parâmetros físicos (quantidade, conteúdo de sólidos e densidade), químicos (pH e concentração de nutrientes) e biológicos (demanda bioquímica de oxigênio e demanda química de oxigênio) do efluente na entrada e na saída do reator. Também, a partir da qualidade observada do efluente, a possibilidade da sua utilização como fertilizante orgânico pode ser avaliada.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A necessidade da conservação do meio ambiente e do bem estar das populações vem fazendo com que a comunidade científica se dedique mais a busca por alternativas no que se refere ao processo de tratamento de resíduos poluidores, bem como buscar meios para a transformação dos mesmos em fontes renováveis de energia. Nesse sentido, a implantação de técnicas voltadas para a redução dos impactos ambientais e à racionalização do uso da energia através da utilização de biodigestores no meio rural merece destaque, os quais se relacionam aos aspectos de saneamento e energia, além de estimularem a reciclagem orgânica de nutrientes (ARRUA, 2012).

A carne suína é a carne mais consumida no mundo. De acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, o rebanho mundial de suínos em 2005, foi superior a 843 milhões de cabeças, dos quais 500 milhões localizavam-se no maior produtor mundial a China, 153 milhões na União Européia, 61 milhões nos Estados Unidos e 33 milhões no Brasil (ALMEIDA, 2008).

A suinocultura possui grande importância socioeconômica, principalmente nos estados do Sul do Brasil, onde a mesma é responsável pela geração de inúmeros empregos no decorrer de sua cadeia de produção. A união da produção com as inovações tecnológicas no setor (genética, nutricional e manejo), juntamente com a desvinculação da interação suinocultura com áreas de lavoura para a disposição de efluentes, tem contribuído para a intensificação dos problemas ambientais (VIVAN, 2010).

O manejo dos dejetos faz parte de qualquer sistema produtivo de suínos e deve estar incluído no planejamento desta atividade. O tipo de sistema de tratamento é baseada em vários fatores, tais como: potencial de poluição, necessidade de mão-de-obra, área disponível, operacionalidade do sistema, legislação, confiabilidade e custos.

Abaixo uma tabela que demonstra a produção diária dos resíduos gerados em algumas atividades animais.

16

Tabela 01 - Produção diária de resíduos líquidos e esterco de diversos animais.

Fonte: EMBRAPA, 1993.

Podemos analisar com a tabela a seguir a produção média diária de dejetos de suínos conforme sua categoria de produção.

Tabela 02 - Produção média diária de dejetos por diferentes categorias de suínos

Categoria
Esterco,
kg/dia
Esterco + urina,
kg/dia
Dejetos
líquido,
L/dia
Estrutura para
estocagem

m
3
/animais/mês
Esterco
+ urina
Dejetos
líquidos
25-100 kg 2,3 4,9 7,0 0,16 0,25
Porcas reposição,
cobrição e
gestante
3,6 11,0 16,0 0,34 0,48
Porca em
lactação com
leitões
6,4 18,0 27,0 0,52 0,81
Macho 3,0 6,0 9,0 0,18 0,28
Leitões 0,35 0,95 1,40 0,04 0,05
Média 2,35 5,80 8,60 0,17 0,27
Fonte: RIZZONI, 2012

Os dejetos de suínos na sua composição química possui um alto potencial fertilizante, podendo substituir a adubação química e contribuir para o aumento da produtividade das culturas além de reduzir os custos de produção.

Os dejetos suínos são basicamente compostos por fezes, urina, água desperdiçada pelos bebedouros e pela higienização, resíduos de ração, pêlos, poeiras entre outros materiais decorrentes do processo criatório. Nas fezes dos suínos encontramos além de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, manganês, ferro, zinco, cobre e outros elementos incluídos nas dietas dos animais. (RIZZONI, 2012).

Resíduo	Unidade	Suínos	Frango	Corte	Gado	Corte	Ovinos	Gado Leite
Líquidos	%/dia (função PV)	5,1	6,6	4,6	3,6	9,4		
Sólidos	Kg/animal/dia	2,3-2,5	0,12-0,18	10-15	0,5-0,9	10-15	17	

A neutralização total ou em parte dos dejetos ocorre por meio de biodigestores, os quais têm merecido destaque, em função de seus aspectos sanitários, bem como dos potenciais na geração de energia renovável, além de oferecer condições econômicas de reciclagem orgânica e de nutrientes (RIZZONI, 2012).

2.1 Tipos de Tratamento de dejetos de suínos

O tratamento consiste em remover ou transformar os agentes poluentes do material, de forma que possa ser reaproveitado no solo ou descartado de forma segura nos cursos de água, minimizando os problemas ambientais (SOUZA, 2005).

Antes de se pensar em qualquer sistema de tratamento devem-se voltar às atenções ao sistema de produção, onde o tratamento de dejetos deve ser visto como parte integrante no

processo produtivo, com isso, tudo o que for feito dentro das instalações pode ter pontos positivos como negativos dentro do tratamento dos dejetos (KUNZ, 2005).

Fatores como, diluição dos dejetos, nutrição dos animais com ração de baixa conversão alimentar, usos de antibióticos e detergentes, capacitação do pessoal responsável pela operação dos sistemas tem influencia direta no tratamento de dejetos (KUNZ, 2005).

2.1.1 Tratamento físico

Nos processos físicos ocorre a separação da parte líquida da parte sólida dos dejetos. Essa separação pode ser feita por vários métodos como decantação, centrifugação, peneiramento e/ou prensagem, assim como desidratação da parte líquida por vento (ar forçado ou ar aquecido) (DIESEL et al., 2002).

2.1.2 Tratamento biológico

Nesse tipo de tratamento acontece a degradação biológica dos dejetos por microrganismos aeróbios e anaeróbios, resultando assim em um material estável e isento de organismos patogênicos. No caso dos dejetos sólidos tem-se como exemplo a compostagem e para os líquidos podem-se dar maior relevância as lagoas de estabilização, digestão e biodigestão (DIESEL, 2002).

18

2.1.3 Biodigestão

A biodigestão é um processo de tratamento que ocorre por meio da fermentação dos dejetos, que é realizada por bactérias que multiplicam-se em locais anaeróbios, para assim efetuarem a digestão da matéria orgânica (CRAVEIRO, 1982).

As bactérias responsáveis pela digestão anaeróbica estão dispostas na natureza, sendo principalmente encontradas em sedimentos de lagoas de estabilização, aterros sanitários, trato digestivo de animais e nos seu dejetos (CRAVEIRO, 1982).

Segundo Kunz (2004) o processo de fermentação anaeróbio é um processo sensível, podendo ser dividido em quatro fases:

Hidrólise: Esta primeira fase se inicia com as bactérias fermentativas hidrolíticas, em um processo denominado de hidrólise. Na primeira fase compostos não dissolvidos, como celulose, proteínas e gorduras são quebradas em moléculas mais simples – de menor peso molecular (na presença de água). Portanto, nesta fase há a solubilização da matéria orgânica em presença de água. A hidrólise de carboidratos ocorre dentro de poucas horas e a hidrólise de proteínas e lipídios dentro de poucos dias. Lignocelulose e lignina são degradados lentamente e de forma incompleta. Os microrganismos anaeróbios facultativos capturam o oxigênio dissolvido na água e, assim, proporcionam as condições necessárias aos microrganismos anaeróbios (SOUZA, 2009).

Acidogênese: Nesta fase, os produtos gerados na hidrólise são absorvidos por bactérias acidogênicas fermentativas e excretados como substâncias orgânicas simples como ácidos graxos voláteis (AGV), tais como ácido acético, fórmico, propiônico, butírico e láctico, além do etanol e de compostos como CO₂, H₂, NH₃, H₂S etc. Ou seja, cadeia de ácidos

orgânicos com 1-5 átomos de carbono. No processo de acidogênese a maioria das bactérias são anaeróbias obrigatórias, existindo também espécies facultativas, onde metabolizam o material orgânico pela via oxidativa (SILVA, 2009).

Acetogênese: Os ácidos graxos e etanol formados são transformados pelas bactérias

acetogênicas, produtoras de acetato e hidrogênio. É nesta fase que ocorre a conversão dos produtos gerados na acidogênese em compostos que formam os substratos para a produção de metano. A função desses microrganismos é degradar esses ácidos graxos e álcoois dando origem a acetato, H_2 e CO_2 . A etapa da fermentação acidogênica assume um importante papel na conversão de matéria orgânica em energia na forma de metano, pois a conversão do substrato a acetato deve ser rápida para que a produção de energia venha ser economicamente viável, uma vez que o acetato vem a ser o principal precursor do metano. Não havendo essa conversão, tampouco haverá metanogênese, ocorrendo o acúmulo dos produtos da hidrólise e da fermentação ácida no reator. Se por alguma razão a taxa de remoção de ácidos voláteis através da metanogênese não acompanha a taxa de produção dos mesmos pode surgir uma situação de instabilidade, com a produção líquida de ácidos, resultando na diminuição do valor do pH. Tal fato pode causar uma redução na atividade metanogênica e um aumento na produção líquida de ácido, ocasionando o que se denomina de acidificação do conteúdo do reator, sendo a causa mais comum de falha operacional em sistemas de tratamento anaeróbio (SOUZA, 2009).

Metanogênese: Nesta fase o metano é produzido por um grupo de procariontes, as metanobactérias, convertendo o acetato, hidrogênio e dióxido de carbono principalmente em metano e dióxido de carbono. O processo de produção de metano geralmente é quem limita o processo de digestão anaeróbia, embora, abaixo dos $20\text{ }^\circ\text{C}$, a hidrólise possa limitar o processo. Como a fase ácida é muito mais rápida do que a fase metanogênica, esta é a fase controladora da velocidade do processo anaeróbio. Sendo assim, é importante manter as condições a fim de viabilizá-la (SILVA, 2009).

Segundo Souza (2009) o metano pode ser produzido pelas bactérias acetotróficas a partir da redução do ácido acético ou pelas hidrogenotróficas, a partir da redução de dióxido de carbono. Cerca de 70% do metano produzido é proveniente da redução de acetato, enquanto que aproximadamente 30% provêm da redução de CO_2 com H_2 . Conforme mencionado, as bactérias metanogênicas desempenham duas funções: produzem metano, possibilitando a remoção de carbono orgânico, reduzindo ácido acético a metano e dióxido de carbono, pela via acetotrófica, além de reduzirem dióxido de carbono a metano e água, pela via hidrogenotrófica.

O sucesso da biodigestão depende do balanceamento entre as bactérias que produzem gás metano (CH_4) a partir dos ácidos orgânicos e este, é dado pela carga diária (sólidos voláteis), alcalinidade, pH, temperatura e qualidade do material orgânico, ou seja, qualquer variação entre eles pode comprometer o processo. A entrada de antibióticos, inseticidas e desinfetantes no biodigestor também pode inibir a atividade biológica diminuindo sensivelmente a capacidade do sistema em produzir biogás (RIZZONI, 2012).

2.1.4 Biodigestores

Os biodigestores caracterizam-se essencialmente pela simplicidade que são construídos e operados, e relativamente à alta eficiência e baixo custo apresentado. Um biodigestor compõe-se basicamente de uma câmara fechada na qual uma biomassa é fermentada anaerobicamente, isto é, sem a presença de ar. Como resultado desta fermentação, ocorrem a liberação de biogás e a produção de biofertilizante. É possível, portanto, definir biodigestor como um aparelho destinado a conter a biomassa e seu produto: O biogás. Existem vários tipos de biodigestores, mas, em geral, todos são compostos, basicamente, de duas partes: um recipiente (tanque) para abrigar e permitir a digestão da biomassa, e o gasômetro (campânula), para armazenar o biogás (ALMEIDA, 2008).

Há vários modelos de biodigestores, os principais são o modelo Indiano, Chinês, e os indianos.

A seguir apresenta-se alguns modelos de biodigestores:

Modelo Indiano:

Este modelo de biodigestor caracteriza-se por possuir uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação, ou em um selo d'água externo, e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A função da parede divisória faz com que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação (DEGANUTTI, 2002).

O modelo indiano possui pressão de operação constante, ou seja, à medida que o volume de gás produzido não é consumido de imediato, o gasômetro tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o volume deste, portanto, mantendo a pressão no interior deste constante. 21

Figura 1: Vista lateral e superior de um biodigestor modelo indiano.

Fonte: Deganutti, 2002

Modelo Chinês

Foram desenvolvidos para produzir biofertilizante necessário para produção de alimentos de sua população numerosa, não se valorizando muito a produção do biogás, pois os Chineses ainda utilizam os combustíveis fósseis como fonte de energia principal. Formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria (tijolo) para a fermentação, com teto abobado, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. Este biodigestor funciona com base no princípio de prensa hidráulica, de modo que aumentos de pressão em seu interior resultantes do acúmulo de biogás resultarão em deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre descompressão (DEGANUTTI, 2002).

O modelo Chinês é constituído quase que totalmente em alvenaria, dispensando o uso de gasômetro em chapa de aço, reduzindo os custos, contudo pode ocorrer problemas com vazamento do biogás caso a estrutura não seja bem vedada e impermeabilizada. 22

Figura 2: Biodigestor modelo chinês.

Fonte: Deganutti, 2002

Modelo Canadense

O biodigestor mais difundido no Brasil é o modelo canadense, que é feito com manta de PVC. Ele oferece menor custo e sua instalação é bem mais fácil em relação aos modelos antigos, podendo ser usado tanto em pequenas como em grandes propriedades. O desenvolvimento de biodigestores no mercado se deve ao setor privado aliado às Universidades e Centro de Pesquisas, que muito tem incentivado neste sentido, conforme consta no Manual de treinamento de biodigestão (NEVES, 2010).

A utilização do biogás no Brasil tem sido atualmente limitada pela falta de tecnologias apropriadas para seu uso, pois boa parte dos equipamentos são adaptações a partir de equipamentos dimensionados para uso do Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), entre outros (NEVES, 2010).

Figura 3: Biodigestor modelo canadense.

Fonte: Deganutti, 2002

Figura 4: Modelo canadense modificado.

Fonte: Deganutti, 2002

3. METODOLOGIA

3.1. DESCRIÇÃO GERAL DA GRANJA

Os dados relatados no presente trabalho foram obtidos a partir da coleta de amostras em uma propriedade rural, localizada no interior do município de São Pedro do Butiá. A propriedade é destinada ao sistema designado como UPL – unidade de produção de leitões, a qual possui, aproximadamente, 2544 animais, contando fêmeas em lactação, leitões e machos. A unidade possui galpões divididos em “creche”, maternidade e salas de gestação. Os dejetos dos diversos galpões são encaminhados para o biodigestor através de canaletas laterais abrigadas, evitando assim, que haja diluição pelas águas das chuvas. A limpeza das baias é feita duas vezes ao dia, sendo uma pela manhã e outra durante à tarde.

3.2. BIODIGESTOR

Os dejetos dos animais, incluindo a água usada na lavagem das baias é encaminhada a um pequeno tanque homogeneizador e posteriormente ao biodigestor. Uma fotografia do biodigestor pode ser conferida na Figura 1, o qual pode ser classificado como Canadense Modificado (CORTEZ et al., 2008).

Figura 5: Fotografia do biodigestor instalado na propriedade. 25

Após passar pelo biodigestor o efluente é enviado a uma lagoa, onde fica depositado até ser utilizado como fertilizante orgânico na agricultura. O gás gerado no equipamento é encaminhado a um queimador, convertendo o metano (CH_4), principalmente, a dióxido de carbono (CO_2), e evitando assim, sua emissão à atmosfera.

O biodigestor possui um volume estimado em 1100 m

3

e é equipado com tubulações laterais que visam permitir a homogeneização periódica do efluente. Também, existem pontos destinados ao monitoramento de eventuais rompimentos da geomembrana impermeabilizante do reator.

3.3. PROCEDIMENTO PARA A ESTIMATIVA DA VAZÃO DE ELUENTE E TEMPO DE RESIDÊNCIA

Um dos principais parâmetros de projeto de biodigestores, diz respeito ao tempo de residência dos efluentes. O tempo de residência pode ser calculado através da divisão do

volume do biodigestor pela vazão volumétrica de efluente tratado. Para esta estimativa, torna-se necessária a avaliação da vazão volumétrica de efluente gerada na granja. Para isto, foram utilizados os dados de geração de fezes e urina para cada categoria de suínos que existentes na granja (Lactantes + 12 Leitões, em média, Leitoas entrando em novo ciclo, Leitões em creche e Machos - Rufiões). Estes dados são relatados no trabalho de Diesel e colaboradores (2002). Outra informação necessária para a estimativa da vazão de efluentes é a vazão de água média utilizada na propriedade, a qual foi informada pelo gerente da granja.

3.4. COLETA DAS AMOSTRAS E CARACTERIZAÇÃO

Foram coletadas amostras de dejetos líquidos na saída das instalações criatórias e na saída do biodigestor. Estas coletas foram realizadas no turno da manhã, logo após a lavagem das instalações (fase que gera a maior vazão de efluente). Os dejetos foram confinados em um tanque de homogeneização à montante do biodigestor, de forma a coletar uma amostra representativa de todo o efluente que vem sendo tratado. O efluente coletado à jusante do biodigestor, devido a sua maior homogeneidade pôde ser coletado diretamente no duto de saída do sistema. 26

A caracterização das amostras coletadas consistiu na avaliação das características químicas, físicas e biológicas do efluente. As metodologias adotadas e parâmetros mensurados foram os seguintes:

Parâmetros físicos: (i) conteúdo de sólidos: Sólidos Totais (ST), Sólidos Voláteis Totais (SV), Sólidos Fixos Totais (SF), Sólidos Dissolvidos Totais (SD), Sólidos Suspensos Totais (SS), Sólidos Dissolvidos Voláteis (SDV), Sólidos Dissolvidos Fixos (SDF), Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), Sólidos Suspensos Fixos (SSF); (ii) densidade (método do picnômetro); (iii) temperatura.

Parâmetros químicos: (i) pH (pHmetro digital calibrado); (ii) concentração de nutrientes: fósforo (P), nitrogênio total (N-total) e potássio (K).

Parâmetros Biológicos: demanda bioquímica de oxigênio de 5 dias (DBO5); demanda química de oxigênio (DQO).

Os procedimentos adotados nas práticas de coleta, transporte e análises das amostras foram de acordo com especificações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998).

27

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. VAZÃO DE EFLUENTE E TEMPO DE RESIDÊNCIA

A partir do quantitativo de animais fornecido pelo gerente da granja, foi possível o cálculo da quantidade total de dejetos (urina + fezes), tendo em vista a metodologia desenvolvida por OLIVEIRA (1993) citado por DIESEL et al. (2002). Estes dados podem ser conferidos na Tabela 1, onde foi estimada uma geração de 9,52 m

3

/dia de urina/fezes. Tendo

em vista que os sistemas de produção de suínos demandam grandes quantidades de água (para lavagem, principalmente, consumo dos animais e perdas), a vazão total de efluentes deve levar em conta a quantidade de água consumida na propriedade. Foi relatado um consumo médio de 45 m

3

/dia. Desta forma, a vazão total de efluentes, a soma destas parcelas, foi de

54,52 m

3

/dia. A partir da medição das dimensões básicas do biodigestor, resultou em um

volume útil de 1100 m

3

. Com estes dados, o tempo de residência do efluente no biodigestor pode ser calculado através da Equação (1), onde: θ é o tempo de residência (dias), V é o volume do biodigestor (m

3

) e Q é a vazão volumétrica de efluente tratado (m

3

/dia). Resultou

em 20,2 dias, conforme apresentado na Tabela 1.

(1)

Tabela 3: Cálculo da geração de dejetos (fezes + urina), total de efluente e tempo de residência no biodigestor da granja alvo do estudo.

Classificação dos

suínos

Número de

animais

Produção de Dejetos

(L/dia)¹

Volume diário de

efluente (m³/dia)

Gestantes 490 11,00 5,39

Lactantes + 12

Leitões* 86 18,00 1,55

Leitões entrando em

novo ciclo 174 4,90 0,85

Leitões em creche 1790 0,95 1,70

Machos - Rufiões 4 6,00 0,02

Parâmetro Unidades Valor

Total (fezes + Urina) m

3

/dia 9,52

Consumo de água da

granja

m

3

/dia 45

Vazão total de efluente m

3

/dia 54,52

Volume do Biodigestor m

3

1100

Tempo de residência dias 20,2

* OLIVEIRA, 1993 apud DIESEL et al. (2002) 28

4.2. CARACTERIZAÇÃO DO AFLUENTE E EFLUENTE DO BIODIGESTOR

A Tabela 4 apresenta a caracterização do efluente tratado no biodigestor, na entrada e na saída do sistema.

Tabela 4: Caracterização do efluente tratado no biodigestor (na entrada e saída).

PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR
Temperatura ambiente	°C	13
Tempo de residência	dias	20,2
ENTRADA SAÍDA		
Temperatura	°C	19.7 19.1
pH		9.14 7.36
Massa específica, à 18.1°C	kg/m ³	993.7 985.4
SÓLIDOS		
Sólidos totais	ST g/L	9.18 4.82
Sólidos voláteis totais*	SV g/L	5.48 2.36
Sólidos fixos totais	SF g/L	3.70 2.46
Sólidos dissolvidos totais	SD g/L	2.07 2.29
Sólidos suspensos totais*	SS g/L	7.11 2.53
Sólidos dissolvidos voláteis *	SDV g/L	1.50 0.05
Sólidos dissolvidos fixos	SDF g/L	0.57 2.23
Sólidos suspensos voláteis*	SSV g/L	3.98 2.31
Sólidos suspensos fixos *	SSF g/L	3.13 0.23
PARÂMETROS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS		
Oxigênio dissolvido	OD mg/L	1.30 1.23
Demanda bioquímica de oxigênio de 5 dias		
DBO ₅		
	mg/L	3600 980
Demanda química de oxigênio	DQO mg/L	8649 2351
NUTRIENTES		
Nitrogênio total	N-total mg/L	1676 1406
Fósforo	P mg/L	54.5 53.5
Potássio	K mg/L	609 507
* por diferença		

Com base nos resultados apresentados na Tabela 2, foi possível o cálculo de alguns parâmetros representativos do processo de biodigestão anaeróbia. A Tabela 3 apresenta os resultados da remoção percentual de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e da demanda química de oxigênio (DQO).

Observa-se também na Tabela 2 uma diluição elevada do resíduo em comparação com dados apresentados por Diesel et al. (2002), o que compromete sua utilização como

29 fertilizante agrícola. Estes autores observaram os seguintes valores mínimos: DQO de 11.530 mg/L, ST de 12,7 g/L e SV de 8,4 g/L, por exemplo.

Tabela 5: Eficiências percentuais de remoção de ST, SV e DQO no biodigestor.

PARÂMETRO	SÍMBOLO	VALOR
Eficiência de remoção de		
ST		
η ST		47.5
Eficiência de remoção de		
VS		
η SV		56.9
Eficiência de remoção de		

DQO
 η DQO 72.8

Tendo em vista que é esperada a conversão dos sólidos voláteis à biogás e que os sólidos fixos se depositam no fundo do biodigestor como lodo, os resultados apresentados são coerentes, tendo em vista a maior eficiência de remoção de DQO em relação à eficiência de remoção de SV.

4.3. ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DE GÁS E DE BIOMASSA NO BIODIGESTOR

4.3.1. Estimativa de produção de metano – Modelo cinético de Chen (1983)

Um dos modelos matemáticos mais utilizados e confiáveis para estimativas da produção de biogás é o modelo de Chen (1983), representado pela Equação (2). Onde: B é a produção de metano a partir do resíduo (m^3

$CH_4/kg\ SV$); θ é o tempo de residência (dias). Os parâmetros do modelo são os seguintes: μ_m é o crescimento específico máximo de microorganismos (day^{-1}

); e B_0 é a produção máxima de metano (m^3

$CH_4/kg\ SV$); K é a constante cinética do processo (adimensional). Chen (1983) indica a utilização de $B_0 = 0,474$

m^3 $CH_4/kg\ SV$ para suínos alimentados à base de milho.

(2)

Neste modelo, o crescimento máximo específico de microorganismos (μ_m) depende da temperatura do resíduo (T , em $^{\circ}C$). Hashimoto et al. (1981) após resultados experimentais, conclui que μ_m pode ser descrito conforme a Equação (3), onde: T é a temperatura do resíduo ($^{\circ}C$).

(3)

Por sua vez, Chen (1983) indica que a constante cinética do biodigestor (K) é dependente da concentração de sólidos voláteis na entrada do biodigestor, presente no dejetos suíno. K é um indicador da performance do biodigestor, sendo que este parâmetro pode ser influenciado por substâncias potencialmente inibidoras presentes no dejetos. O valor de K para a digestão anaeróbica de dejetos de suínos pode ser estimado pela Equação (4), onde SV_{Entra} é a concentração de sólidos voláteis na entrada do biodigestor ($kg\ SV/m^3$

).

(4)

A Tabela 6 apresenta os dados para a estimativa de produção de metano para o caso em questão com o uso do modelo de Chen (1983).

Tabela 6: Condições operacionais do biodigestor e estimativa da produção de metano de acordo com o modelo de Chen (1983).

PARÂMETRO SÍMBOLO UNIDADE VALOR

CONDIÇÕES DO BIODIGESTOR

Temperatura média do biodigestor

T °C 19.4

Concentração de sólidos voláteis na entrada

SV Entra kg SV/m

3

5.48

Tempo de residência θ dias 20.2

PARÂMETROS DO MODELO

Crescimento específico

máximo de

microorganismos

μ m dias

-1

0.123

Constante cinética do processo

K adimensional 0.601

Produção específica

máxima de metano

B 0 Nm

3

CH₄ /kg SV* 0.474

RESULTADO

Produção de metano

específica do efluente

B Nm

3

CH₄ /kg SV* 0.338

* Nm³ – nas condições normais de temperatura e pressão, 0°C e 1atm.

31

4.3.2. Balanço de massa para o cálculo da quantidade de biomassa (lodo) produzida no biodigestor

A partir de um balanço de massa para o carbono (C) no processo, chega-se à relação apresentada pela Equação (5). Nesta equação: DQO Entra e DQO Sai são as demandas químicas de oxigênio na entrada e na saída do biodigestor [mg de O₂ / (L de efluente)]; B em Nm

3

/(kg de

SV); SV Entra em kg de SV/(m

3

de efluente); y CH₄ é a fração volumétrica de CH₄ no biogás produzido [m³ de CH₄ / (m

3

de biogás)]; M é a quantidade de carbono presente na biomassa celular (lodo) formada durante o processo de biodigestão [(g de C)/(m³

de efluente)]. Foi

utilizado o valor de $y_{CH_4} = 0,60$, tendo em vista as concentrações de metano apresentadas por Souza et al. (2008) e Campos et al. (2002). Os valores numéricos apresentados na Equação (5) possuem as seguintes unidades: 535,7 (g de C)/(Nm³

de biogás) e 0,375 [(g de C)(L de efluente)]/[(mg de O₂)(m³ de efluente)]. Este balanço material levou em consideração que, em regime permanente, o carbono que entra no biodigestor é transformado em biogás (considerado uma mistura de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), conforme várias referências (entre elas SOUZA et al., 2008; CAMPOS et al., 2002)) ou lodo (biomassa celular) ou então sairá junto com o efluente do biodigestor. Outra consideração pertinente, foi que há pequena variação, entre a entrada e a saída do sistema, da massa total do efluente.

(5)

Tendo em vista que conhecemos: (i) a concentração de SV na entrada, (ii) a variação de DQO no biodigestor, (iii) estimamos B através do modelo de Chen (1983) e, ainda, (iv) através de experiências anteriores relatadas na literatura conhecemos a concentração volumétrica média de metano no biogás; podemos, desta forma, estimar a quantidade de lodo que deposita-se no biodigestor durante o processo. Foi obtido, através da Equação (5), valor de $M = 709,5$ (g de C)/(m³

de efluente) ou 0,709 (g de C)/(L de efluente) que vem se depositando no fundo do reator como lodo (ou biomassa celular).

Ramalho (1983) citado por Cortez et al. (2003) indicam a seguinte fórmula molecular média para a biomassa celular: C₅H₇NO₂ (massa molar de 113 g/mol). Com isto, tendo como base a produção de biomassa calculada anteriormente [0,709 (g de C)/(L de efluente)], estima-se a geração de 16,4 (g de biomassa)/(L de efluente).

32

4.4. SÓLIDOS NO BIODIGESTOR

A Tabela 7 apresenta a diminuição percentual de sólidos presente no efluente tratado no biodigestor.

Tabela 7: Redução percentual de sólidos no biodigestor.

PARÂMETRO SÍMBOLO REDUÇÃO (%)*

Sólidos totais ST 47.5

Sólidos voláteis totais SV 56.9

Sólidos fixos totais SF 33.5

Sólidos dissolvidos totais SD -10.3

Sólidos suspensos totais SS 64.4

Sólidos dissolvidos voláteis SDV 96.5

Sólidos dissolvidos fixos SDF -291.8

Sólidos suspensos voláteis SSV 42.0

Sólidos suspensos fixos SSF 92.8

* Valores negativos indicam aumento da concentração

Podemos observar na Tabela 7, além da redução de sólidos totais (ST), que a redução

de sólidos voláteis (SV) foi 1,7 vezes muito que a redução de sólidos fixos (SF). Esta constatação reforça a idéia de Chen (1983) de que a produção de biogás é dependente, principalmente, da quantidade de SV presente no afluente do biodigestor. A diminuição de SF pode ser atribuída à sua sedimentação no biodigestor, principalmente. A observação dos teores de sólidos dissolvidos voláteis (SDV) (ver Tabela 2) e sua redução percentual (Tabela 5) permitem, além disto, supor que os SDV se convertem a biogás com velocidades maiores comparadas aos sólidos suspensos voláteis (SSV). Desta forma, pode-se supor que o mecanismo de transformação dos voláteis inicia-se com a dissolução destes na fase líquida e sua posterior conversão a biogás.

Uma comparação entre os sólidos dissolvidos (SD) e suspensos (SS) evidencia uma redução dos SS e aumento da concentração de SD. O aumento dos SD pode ser explicada tendo em vista a dissolução dos sólidos suspensos fixos (SSF), que passam a estar dissolvidos (SDF) no meio, como evidencia a Tabela 5. Entre os sólidos suspensos, a maior redução nos sólidos fixos (SSF) em relação aos voláteis (SSV) pode ser explicada pelo fato de que, entre os sólidos fixos suspensos, parte é sedimentável, precipitando no biodigestor.

Tendo em vista esta análise, pode-se concluir que as transformações dos sólidos são as seguintes: os SSV se dissolvem na fase líquida; SSF: parte se dissolve e outra parte precipita no biodigestor; os SDV se convertem à biogás e biomassa celular. Com isto, 33 observando as elevadas quantidades de SSV remanescentes no efluente do biodigestor (Tabela 2), pode-se velocidade de transformação muito maiores caso se aumente os teores de sólidos dissolvidos, principalmente os voláteis, no afluente do biodigestor. Neste caso, um pré-tratamento adequado pode fazer com que a produção de biogás, e conseqüentemente a eficiência de remoção (de DQO e SV), seja aumentada utilizando-se o biodigestor com o mesmo volume.

4.5. NUTRIENTES

A Tabela 8 apresenta os resultados de um balanço material para os nutrientes N, P e K. Os resultados foram obtidos a partir da consideração de que a quantidade que entra de nutrientes deverá deixar o sistema como lodo (precipitado no biodigestor) ou no efluente. Observação: de acordo com Deublein & Steinhauser (2008) não são percebidas quantidades significativas de amônia no biogás proveniente da biodigestão de dejetos de animais.

Tabela 8: Nutrientes presentes nas correntes do biodigestor.

PARÂMETRO UNIDADE ENTRADA SAÍDA LODO*

NUTRIENTES

Nitrogênio

total

N-

total

kg/m

3

1.68 1.41 0.27

Fósforo P kg/m

3

0.0545 0.0535 0.0010

Potássio K kg/m

3

0.609 0.507 0.102

Total NPK kg/m

3

2.34 1.97 0.37

RELAÇÕES

Relação C/N (kg C)/(kg N) 1.94 0.63 2.63

Relação NPK/C
(kg de NPK)/(kg
de C)

0.72 2.23 1.90

Relação NPK/Lodo (kg de NPK)/(kg de lodo) 0.0227

* nos primeiros quatro dados, representa a massa do nutriente depositada como lodo para cada unidade de volume processado.

Observa-se na Tabela 8 que a concentração total de nutrientes, tendo em vista uma aplicação agrícola dos dejetos, é bastante baixa, tanto no efluente quanto no afluente. A recomendação de aplicação dos dejetos de suínos em solo, segundo Diesel e colaboradores (2002), é feita com base em quantidades de matéria seca maiores que 6%. Tendo em vista que a quantidade de nutrientes é proporcional à quantidade de matéria seca (DIESEL et al., 2002), Scherer (1996) obteve valor médio de matéria seca de 1% em amostras com quantidades de nutrientes inferiores a 3 kg/m

3

. No caso em questão, no efluente do biodigestor são 34 observadas apenas 1,97 kg/m

3

de efluente (cerca de 0,2 % em massa). No lodo proveniente do biodigestor, foram encontradas, através do balanço material, maiores concentrações, cerca de 2% em massa, tornando mais favorável a sua aplicação agrícola. Como pontos positivos do desempenho do biodigestor, pode-se citar: (i) baixa relação C/N no efluente, a qual foi diminuída em cerca 64 %; (ii) elevada razão entre nutrientes e carbono – 2,23 kg NPK/kg C.

35

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho o desempenho do processo de biodigestão anaeróbia em um efluente da suinocultura típico da região das Missões foi avaliado. Esta avaliação foi realizada em uma granja, que possui um biodigestor modelo canadense modificada, e consistiu na avaliação de parâmetros físicos, químicos e biológicos do efluente na entrada e na saída do reator, bem como a vazão de efluente. Os resultados evidenciaram uma elevada diluição do efluente, em comparação com dados apresentados na literatura. Foi estimado um tempo de residência de 20,2 dias e foram observadas elevadas eficiências de remoção de DQO e sólidos voláteis – de 72,8 e 56,9 %, respectivamente. A caracterização do efluente permitiu a estimação da produção específica de biogás através do modelo de Chen: 0,338 Nm

3

CH 4 /kg SV. Um balanço material, baseado neste resultado, resultou em uma produção de biomassa celular (lodo) de 0,709 g de C/L de efluente tratado. A análise de sólidos permitiu concluir que o biogás é produzido a partir dos sólidos voláteis e que, quando na forma suspensa, os mesmos deverão se dissolver na fase líquida antes de sua transformação a biogás. Com isto um pré-tratamento do efluente, visando aumentar a quantidade de sólidos dissolvidos pode ser capaz de aumentar a velocidade global de transformação no biodigestor. As quantidades de nutrientes observadas no efluente do biodigestor foram muito menores que as quantidades mínimas para sua recomendação como fertilizante agrícola. No lodo, as quantidades de nutrientes apresentaram-se mais adequadas à sua aplicação agrária (cerca de 2% em massa).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, G. BIODIGESTÃO ANAERÓBICA NA SUINOCULTURA. Curso de Medicina Veterinária do Centro Universitário das Faculdades Metropolitanas Unidas – UniFMU. São Paulo. 2008.

ARRUA, M; SCHNEIDERS, J; BROETTO, L; ANDRADE, M; MEINERZ, C. SUINOCULTURA E PRODUÇÃO DE DEJETOS NA MICROBACIA ARROIO FUNDO, MUNICÍPIO DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON – PR. Paraná. 2012.

A. W.W. A.; A. P. H. A. STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. Washington: APHA, 1998. 20 ed.

CHEN, Y. R. KINETIC ANALYSIS OF ANAEROBIC DIGESTION OF PIG MANURE AND ITS DESIGN IMPLICATIONS. *Agricultural Wastes*, 8: 65-81, 1983.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. BIOMASSA PARA ENERGIA. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2008.

CRAVEIRO, A. M.; LA IGLESIA, M. R. de; HIRATA, Y. S.. MANUAL DE BIODIGESTORES RURAIS. São Paulo: Ipt, 1982. 61 p.

CUNHA, L. USO DO BIODIGESTOR PARA TRATAMENTO DE DEJETOS SUÍNOS. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2007.

DEGANUTTI, R; PALHACI, M; ROSSI, M; TAVARES, R; SANTOS, C. BIODIGESTORES RURAIS: MODELO INDIANO, CHINÊS E BATELADA. An. 4. Enc. Energ. Meio Rural 2002.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. BIOGAS FROM WASTE AND RENEWABLE RESOURCES – AN INTRODUCTION. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim, 2008.

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C. COLETÂNEA DE TECNOLOGIAS SOBRE DEJETOS SUÍNOS. Boletim Informativo de Pesquisa - Embrapa Suínos e Aves e Extensão - EMATER/RS, Agosto, 2002.

KUNZ, A. EXPERIÊNCIA DA EMBRAPA COM BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS DE SUÍNOS –I.2004. Disponível on-line em: www.cnpsa.embrapa.br. Acesso em 27 de jun. de 2013.

37

KUNZ, A.. TRATAMENTO DE DEJETOS: DESAFIO DA SUINOCULTURA TECNIFICADA. Concórdia: EMBRAPA - CNPSA, 2005. 4 p. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/>>. Acesso em: 24 jun. 2013.

NEVES, V. CONSTRUÇÃO DE BIODIGESTOR PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA FERMENTAÇÃO DE ESTERCO BOVINO. Trabalho de Graduação Curso de Tecnologia em Biocombustíveis. Faculdade de Tecnologia de Araçatuba. 2010.

OLIVEIRA, P.A.V. MANUAL DE MANEJO E UTILIZAÇÃO DOS DEJETOS DE SUÍNOS. Concórdia: EMBRAPA-CNPQA, 1993.188p. (EMBRAPA - CNPQA. Documentos, 27).

OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. GERAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE BIOGÁS EM UNIDADES DE PRODUÇÃO DE SUÍNOS. Embrapa, Documentos, 115, junho, 2006.

RIZZONI, L; TOBIAS, A; DEL BIANCHI, M; GARCIA, J. BIODIGESTÃO ANAERÓBIA NO TRATAMENTO DE DEJETOS DE SUÍNOS. REVISTA CIENTÍFICA ELETRÔNICA DE MEDICINA VETERINÁRIA. Ano IX – Número 18 – Janeiro de 2012. Garça / SP.

TORRES, A; PEDROSA, J; MOURA, J; FUNDAMENTOS DE IMPLANTAÇÃO DE BIODIGESTORES EM PROPRIEDADES RURAIS. Universidade de Pernambuco-Escola Politécnica de Pernambuco. Educação Ambiental em Ação.Nº 40. Pernambuco, 2012.

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, W. ESTUDO CINÉTICO DO PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS SÓLIDOS VEGETAIS. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, PR. 2009.

SOUZA, C.F.; CAMPOS, J.A.; SANTOS, C.R.; BRESSAN, W.S.; MOGAMI, C.A. PRODUÇÃO VOLUMÉTRICA DE METANO – DEJETOS DE SUÍNOS. Ciênc. Agrotec., Lavras, v. 32, n. 1, p. 219-224, jan./fev., 2008. Campos et al. (2002)

SOUZA, C. de F.. PRODUÇÃO DE BIOGÁS E TRATAMENTO DE RESÍDUOS: BIODIGESTÃO ANAERÓBIA. Ação Ambiental, Viçosa, n. 34, p.26-29, nov./dez. 2005.

SOUZA, C; CAMPOS, A; BUENO, O; SILVA, E. ANÁLISE ENERGÉTICA EM SISTEMA DE PRODUÇÃO DE SUÍNOS COM APROVEITAMENTO DOS DEJETOS COMO BIOFERTILIZANTE EM PASTAGEM. ENGENHARIA. AGRÍCOLA. Jaboticabal, v.29, n.4, p.547-557, out./dez. 2009.

SOUZA, C. ANÁLISE AMBIENTAL E ENERGÉTICA DO TRATAMENTO DE DEJETOS LÍQUIDOS DE SUÍNOS. Dissertação Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Diamantina, MG, 2009.

38

VIVAN, M; KUNZ, A; STOLBERG, J; PERDOMO, C; TECHIO, V. EFICIÊNCIA DA INTERAÇÃO BIODIGESTOR E LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO NA REMOÇÃO DE POLUENTES EM DEJETOS DE SUÍNOS. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.14, n.3, p.320–325, 2010 Campina Grande, PB.