



**ROSICLER TAVARES DO AMARAL TONELLI**

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-  
QUÍMICOS DE CAMA SOBREPOSTA DE  
SUÍNOS TRATADA EM BIODIGESTOR**

**LAVRAS-MG**

**2014**

**ROSICLER TAVARES DO AMARAL TONELLI**

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO–QUÍMICOS DE CAMA  
SOBREPOSTA DE SUÍNOS TRATADA EM BIODIGESTOR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Construções Rurais e Ambiente, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Alessandro Torres Campos

Coorientador

Dr. Tadayuki Yanagi Junior

**LAVRAS - MG**

**2014**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e  
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Tonelli, Rosicler Tavares do Amaral.

Avaliação de parâmetros físico-químicos de cama sobreposta de suínos tratada em biodigestor / Rosicler Tavares do Amaral Tonelli.  
– Lavras : UFLA, 2014.

63 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: Alessandro Torres Campos.

Bibliografia.

1. Biodigestão anaeróbia. 2. Construções rurais. 3. Instalações para suínos. 4. Manejo alternativo. 5. Sustentabilidade. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 636.40838

**ROSICLER TAVARES DO AMARAL TONELLI**

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO–QUÍMICOS DE CAMA  
SOBREPOSTA DE SUÍNOS TRATADA EM BIODIGESTOR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Construções Rurais e Ambiente, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 14 de julho de 2014.

Dr. Ronaldo Fia                      UFLA

Dr. Valdir Botega Tavares      IF SUDESTE MG/*CAMPUS* RIO POMBA

Dr. Alessandro Torres Campos  
Orientador

**LAVRAS - MG**

**2014**

## **OFEREÇO**

A Deus sempre presente na  
minha vida a Nossa Senhora e ao Santo Expedito  
que me fortalece e protege.

Aos meus pais, Antônio e Marlene e ao meu esposo Adriano, com todo amor,  
carinho e gratidão

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por estar presente em cada momento da minha vida, iluminando-me, fortalecendo-me a todo o momento e guiando-me a um caminho melhor.

A meus pais, Antônio e Marlene, pelo apoio financeiro e por estarem sempre a meu lado me incentivando e me apoiando.

Ao meu esposo Adriano, pelo amor, dedicação e ensinamentos.

Ao meu irmão Elias, pela força carinho e amizade.

Ao professor, Dr. Alessandro Torres Campos, pelos preciosos ensinamentos.

À Universidade Federal de Lavra (UFLA) e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade concedida para a realização do mestrado.

À FAPEMIG e ao CNPq, pelo suporte financeiro, que possibilitou a realização deste trabalho.

À CAPES, pela cessão de bolsa de estudos em um período parcial deste trabalho.

Aos amigos, Francine, Pedro, Jacqueline Cardoso, Alessandro Veloso, Ana Flávia, Ana Cláudia, Ana Luíza, Talícia, Michelle e Regina pela contribuição para a concretização deste trabalho.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia- *Campus* de Rio Pomba pelo concedimento para a realização do experimento.

Às secretárias Helem e Fernanda pela gentileza, compreensão e atenção.

Ao Valdir pela enorme ajuda no transporte dos resíduos.

Há pessoas que desejam saber só por saber, e isso é curiosidade; outras, para alcançarem fama, e isso é vaidade; outras, para enriquecerem com a sua ciência, e isso é um negócio torpe: outras, para serem edificadas, e isso é prudência; outras, para edificarem os outros, e isso é caridade.

*São Tomás de Aquino*

## RESUMO GERAL

O sistema de camas sobrepostas configura-se como alternativa para reduzir, por meio do manejo de dejetos, em estado sólido, os riscos de contaminação ambiental decorrentes da criação de suínos. Entretanto, estudos indicam que o manejo dos dejetos, em cama sobreposta, apesar do processo semelhante ao da compostagem que ocorre, não é suficiente para a completa estabilização destes resíduos. Diante desse contexto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de analisar, por meio dos parâmetros físico-químicos, a composição de resíduos de camas sobrepostas de suínos, antes e após tratamento em biodigestor, avaliando a eficiência em reduzir a carga de poluentes dos dejetos, de modo que estes possam ser utilizados como fertilizantes. Os dejetos, coletados em instalação para suinocultura em camas sobrepostas, foram analisados na entrada e na saída dos biodigestores. Foram utilizados dois tipos de camas: uma composta por maravalha e outra de bagaço de cana-de-açúcar + maravalha. No tratamento, utilizaram-se 12 biodigestores laboratoriais do tipo batelada com volume útil de 20 litros. Para analisar a redução de poluentes dos dejetos em ambos os estágios considerados (i.e. antes e pós-tratamento) os seguintes parâmetros foram analisados: Demanda bioquímica de oxigênio (DBO), Demanda química de Oxigênio (DQO), Sólidos totais (ST), Sólidos voláteis (SV), Sólidos fixos (SF), Nitrogênio total, Fósforo total e Potencial hidrogeniônico (pH). As eficiências médias de remoção da DQO, DBO, ST, SF e SV no tratamento utilizando bagaço de cana-de-açúcar + maravalha foram de 60,9; 62,4; 54,9; 28,6 e 67,5%, respectivamente. No tratamento onde se utilizou somente maravalha as médias de remoção para DQO, DBO, ST, SF e SV foram de 61; 64,9; 44,9; 16,6 e 67,1%, respectivamente. Pelos resultados constatou-se que o sistema de tratamento biológico anaeróbio foi eficiente para reduzir e estabilizar a matéria orgânica dos dejetos de suínos.

Palavras-chave: Biodigestão anaeróbia. Construções rurais. Instalações para suínos. Manejo alternativo. Sustentabilidade.



## GENERAL ABSTRACT

The deep litter system is an alternative to reduce, through solid wastes management, the risks of environmental contamination resulting from the swine breeding, which is not sufficient to a complete stabilization of these wastes, although being similar to composting process. The present work was performed with the objective to assess, through physical chemical parameters, the composition of swine deep litter, before and after treatment into aerobic digester. It was evaluated the efficiency in reducing the pollutants load of waste, in order to use it as fertilizers. The waste were collected in the installations for swine breeding, and were used two types of beds, namely, one composed by wood shaving and another composed by sugar cane bagasse plus shavings. It was used 12 laboratorial boatload-type anaerobic digesters with working volume of 20 liters for treatment. To assess the reduction of pollutants of waste, in both considered stages (before and after treatment), were considered the Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Solid (TS), Volatile Solid (VS), Fixed Solid (FS), Total Nitrogen, Total Phosphorus and hydrogenionic potential (pH). According to results, at the treatment with sugar cane bagasse plus shavings, the mean removal efficiencies for COD, BOD, TS, FS and VS were around 60.9, 62.4, 54.9, 28.6 and 67.5% respectively, and 61, 64.9, 44.9, 16.6 and 67.1% at the treatment with wood shaving. Therefore, the anaerobic biological treatment system was efficient in reducing and stabilizing the organic material of swine waste.

Key-words: Anaerobic digestion. Rural buildings. Installations for swine. Alternative management. Sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

### PRIMEIRA PARTE

Figura 1	Sequência metabólica envolvida na digestão anaeróbia .....	21
Figura 2	Esquema em corte do biodigestor modelo indiano .....	25
Figura 3	Representação tridimensional em corte do biodigestor modelo chinês .....	27
Figura 4	Biodigestor modelo canadense .....	28

### SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

#### ARTIGO 1

Figura 1 -	Coleta em cama sobreposta .....	42
Figura 2 -	Pontos de coleta de amostras de cama sobreposta no interior de cada baia .....	43
Figura 3 -	Esquema contendo as dimensões dos biodigestores.....	45
Figura 4	Biodigestores de bancada laboratoriais e os respectivos gasômetros utilizados na biodigestão da maravalha e da maravalha + bagaço da cana-de-açúcar.....	46
Figura 5 -	Valores de mediana para demanda bioquímica de oxigênio (DBO) em cama sobreposta de suínos de bagaço de cana-de-açúcar + maravalha (BC + MAR) e maravalha (MAR), na entrada e na saída dos biodigestores modelo batelada. ....	49
Figura 6 -	Valores de mediana para demanda química de oxigênio (DQO) em cama sobreposta de suínos de bagaço de cana-de-açúcar + maravalha (BC + MAR) e maravalha (MAR), na entrada e na saída dos biodigestores modelo batelada.....	51

Figura 7 - Valores de mediana para sólidos totais (ST) em cama sobreposta de suínos de bagaço de cana-de-açúcar + maravalha (BC + MAR) e maravalha (MAR), na entrada e na saída dos biodigestores modelo batelada. ....	52
Figura 8 - Valores de medianas para potencial hidrogeniônico (pH) em cama sobreposta de suínos de bagaço de cana-de-açúcar + maravalha (BC + MAR) e maravalha (MAR), na entrada e na saída dos biodigestores modelo batelada.....	55
Figura 9 - Valores de mediana para nitrogênio total em cama sobreposta de suínos de bagaço de cana-de-açúcar + maravalha (BC + MAR) e maravalha (MAR), na entrada e na saída dos biodigestores modelo batelada. ....	56
Figura 10 - Valores de mediana para fósforo total em cama sobreposta de suínos de bagaço de cana-de-açúcar + maravalha (BC+ MAR) e maravalha (MAR), na entrada e na saída dos biodigestores modelo batelada.....	58

## LISTA DE TABELAS

### SEGUNDA PARTE - ARTIGO

Tabela 1	Teores médios dos parâmetros físico-químicos e reduções em porcentagem das variáveis após tratamento nos biodigestores.....	47
Tabela 2	Valores médios de potencial hidrogeniônico (pH) no afluente e efluente dos biodigestores.....	54

## LISTAS DE ABREVIATURAS

DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda química de oxigênio
MAR	Maravalha
BC	Bagaço de cana-de-açúcar
ST	Sólidos totais
SV	Sólidos voláteis
SF	Sólidos fixos
pH	Potencial hidrogeniônico
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
CH <sub>4</sub>	Metano
NH <sub>3</sub>	Amônia
UASB	Reator de fluxo ascendente com manta de lodo
P	Fósforo
N	Nitrogênio
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
mg L <sup>-1</sup>	Miligrama por litro

## SUMÁRIO

<b>PRIMEIRA PARTE</b>	
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> ..... 14
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> ..... 16
<b>2.1</b>	<b>Impacto ambiental causado pelos dejetos de suínos</b> ..... 16
<b>2.2</b>	<b>Criação de suínos em cama sobreposta</b> ..... 17
<b>2.3</b>	<b>Biofertilizante</b> ..... 19
<b>2.4</b>	<b>Biodigestão anaeróbia</b> ..... 21
<b>2.4.1</b>	<b>Fatores que influenciam a digestão anaeróbia</b> ..... 23
<b>2.5</b>	<b>Modelos de biodigestores</b> ..... 24
<b>2.5.1</b>	<b>Biodigestor modelo indiano</b> ..... 25
<b>2.5.2</b>	<b>Biodigestor modelo chinês</b> ..... 26
<b>2.5.3</b>	<b>Biodigestor de fluxo tubular ou modelo canadense</b> ..... 27
<b>2.5.4</b>	<b>Biodigestor modelo batelada</b> ..... 28
<b>2.6</b>	<b>Parâmetros físico-químicos de análise de resíduos</b> ..... 29
<b>2.6.1</b>	<b>Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)</b> ..... 29
<b>2.6.2</b>	<b>Demanda química de oxigênio (DQO)</b> ..... 29
<b>2.6.3</b>	<b>Sólidos totais fixos e voláteis</b> ..... 30
<b>2.6.4</b>	<b>Nitrogênio total</b> ..... 30
<b>2.6.5</b>	<b>Fósforo total</b> ..... 31
<b>2.6.6</b>	<b>Potencial hidrogeniônico (pH)</b> ..... 31
	<b>REFERÊNCIAS</b> ..... 32
<b>SEGUNDA PARTE - ARTIGO</b> ..... 36	
<b>ARTIGO 1 Biodigestão anaeróbia de camas sobrepostas de suínos tratadas em biodigestores tipo batelada em escala laboratorial</b> ..... 36	
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> ..... 38
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> ..... 41
<b>2.1</b>	<b>Caracterização das instalações</b> ..... 41
<b>2.2</b>	<b>Coleta das amostras</b> ..... 42
<b>2.3</b>	<b>Parâmetros físico-químicos e análise dos dados</b> ..... 44
<b>2.4</b>	<b>Características dos biodigestores em escala laboratorial</b> ..... 44
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> ..... 47
<b>3.1</b>	<b>Demanda bioquímica de oxigênio</b> ..... 48
<b>3.2</b>	<b>Demanda química de oxigênio</b> ..... 50
<b>3.3</b>	<b>Sólidos totais e voláteis</b> ..... 51
<b>3.4</b>	<b>Potencial hidrogeniônico (pH)</b> ..... 54
<b>3.5</b>	<b>Macronutrientes nitrogênio total e fósforo total</b> ..... 56
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b> ..... 59
	<b>REFERÊNCIAS</b> ..... 61

## **PRIMEIRA PARTE**

### **1 INTRODUÇÃO**

A preocupação com o uso adequado dos recursos naturais tem se intensificado nos últimos anos, em virtude dos danos irreparáveis ao meio ambiente e aos seres humanos causados pela poluição. Sem dúvida, é um dos problemas dos países desenvolvidos e em desenvolvimento e decorre, em grande medida, pela falta de conhecimento e mais ainda pela falta de consciência ambiental.

Os sistemas de confinamento de suínos dão origem a uma grande quantidade de dejetos que necessitam de destinação. Em decorrência dos problemas causados por resíduos vindos dessa atividade agroindustrial, uma das alternativas encontradas é a criação de suínos em camas sobrepostas, as quais podem ser utilizadas na agricultura como fertilizante, por serem ricas em nutrientes necessários ao desenvolvimento de plantas.

O uso do fertilizante, proveniente da cama sobreposta, pode melhorar as características biológicas, físicas e químicas do solo. Entretanto, o resultado poderá ocorrer de forma negativa se o mesmo for utilizado em excesso. Ademais, trabalhos detectaram que a compostagem da cama, que ocorre durante sua permanência nas instalações, não é suficiente para a completa estabilização deste material (CAMPOS et al., 2012; CAMPOS et al., 2013), havendo necessidade de um tratamento complementar do efluente produzido, para que o mesmo possa ser empregado como biofertilizante.

Neste sentido, uma alternativa, para se promover a complementação do tratamento do efluente, é o uso de biodigestores, obtendo-se, paralelamente, a produção do biogás, que pode ser empregado para a geração de energia elétrica na própria granja, agregando valor ao processo, reduzindo a dependência de

energia externa, tendo-se, ainda, por conseguinte, incremento na sustentabilidade do processo produtivo como um todo.

Os biodigestores compõem-se, dentre outros acessórios, de uma câmara fechada a qual impede a entrada de oxigênio, para que as bactérias anaeróbias decomponham a matéria orgânica. No processo de biodigestão anaeróbia, os subprodutos obtidos são o biogás e o biofertilizante.

O biogás é uma mistura de gases sendo o metano o gás liberado em maior quantidade. Esse combustível pode ser utilizado para gerar energia elétrica em razão de seu alto poder calorífico.

No meio rural, o uso de biodigestores, além de promover o tratamento de efluentes, tem sido uma das opções para produção de energia a baixo custo. Existe uma variedade de modelos de biodigestores, cada um adaptado a uma necessidade, sendo mais utilizado o indiano, o chinês e o canadense.

Dentre os modelos de biodigestores mais difundidos, o indiano é um dos mais conhecidos e utilizados (GASPAR, 2003).

Dado o exposto, objetivou-se no presente trabalho avaliar as camas sobrepostas compostas por maravalha e por bagaço da cana-de-açúcar mais maravalha como biofertilizante e seu potencial poluidor, antes e após o tratamento em biodigestor.



## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Impacto ambiental causado pelos dejetos de suínos**

Os recursos hídricos estão sujeitos a sofrerem contaminações pelos mais diversos poluentes. Dentre as principais fontes de contaminação, encontram-se os resíduos das atividades agrícolas. Em áreas onde a pecuária está presente, existe uma maior ou menor contaminação, que depende de uma série de fatores, os quais envolvem o discernimento por parte do criador, aplicação de recursos, tamanho da propriedade, assistência de órgãos responsáveis, além de condições ambientais propícias, especialmente quando se trata da criação de animais confinados (ASSIS; MURATORI, 2007).

A poluição ambiental, causada pelos dejetos de suínos, tem pressionado os diferentes setores dessa atividade e os governos municipais, estaduais e federais a buscarem soluções que permitam a continuidade da mesma, sem causar danos incompatíveis com o objetivo de conservar a qualidade ambiental e a saúde pública (SEGANFREDO, 2007).

Os dejetos de animais, em especial dos suínos, constituem-se num problema muito sério face ao elevado número de contaminantes presentes nesses, causando uma forte degradação do ar, do solo e, principalmente, dos recursos hídricos (NOLASCO et al., 2005).

No processo de decomposição dos dejetos são emitidos gases, que podem causar graves prejuízos nas vias respiratórias do homem e dos animais, além de contribuir para o aquecimento global (BRAGA et al., 2005).

Os principais gases emitidos pelos sistemas de criação de suínos, incluindo a fase produtiva dos animais e a geração, manejo e utilização dos dejetos, são a amônia ( $\text{NH}_3$ ) e os gases do efeito estufa, dióxido de carbono

(CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (OLIVEIRA; HIGARASHI; NUNES, 2003).

Em relação à contaminação das águas, o aumento da criação de suínos gera grandes quantidades de resíduos, os quais possuem potencial altamente poluidor. Por vezes, os dejetos dos suínos são distribuídos no solo, o que pode trazer a poluição dos mananciais de água e, conseqüentemente, a eutrofização (SEGANFREDO, 2007). O principal fator de estímulo à eutrofização é o nível excessivo de nutrientes no corpo d'água, principalmente, nitrogênio e fósforo (VON SPERLING, 2005).

A eutrofização está diretamente relacionada com a cadeia alimentar aquática e com a disponibilidade de nutrientes do meio (fósforo, nitrogênio, potássio, cálcio). O aumento desses nutrientes causa crescimento exagerado de algas, impedindo a penetração solar, o que prejudica a vida aquática (MACÊDO, 2006).

A poluição das águas por contaminantes biológicos e químicos é um problema mundial. Há poucas áreas povoadas, seja em países desenvolvidos ou não, que não sofrem, de alguma forma, com a poluição das águas (BAIRD; CANN, 2011).

## **2.2 Criação de suínos em cama sobreposta**

O sistema de criação de suínos em cama sobreposta vem se tornando presente entre os produtores, com o intuito de facilitar e reduzir os custos com o manejo dos dejetos, quando comparado ao sistema convencional de produção. Este sistema alternativo tem ganhado espaço entre os produtores, por apresentar edificações de menor custo, melhora do bem estar dos animais e menor impacto ao meio ambiente.

A cama sobreposta consiste na substituição do piso convencional, feito de concreto, ou piso ripado metálico ou de material plástico nas instalações por uma cama de, aproximadamente, 50 cm de profundidade composta por material rico em carbono, que pode ser: maravalha, casca de arroz ou sabugo de milho triturado, entre outros. Essa camada tem função de piso e digestor dos dejetos, os quais são retidos, armazenados e estabilizados dentro da própria edificação suinícola e manejados em estado sólido (CORRÊA et al., 2008).

O processo que ocorre com os dejetos no interior da cama é semelhante ao da compostagem. A diferença é que, no sistema de cama sobreposta, a adição de material ocorre diariamente como: água e ração desperdiçadas pelos animais, fezes e urina.

Enquanto os dejetos líquidos apresentam menos de 10% de matéria seca, os dejetos vindos da cama apresentam cerca de 40% de matéria seca (BARTELS, 2001). Conforme acontece o aumento da massa seca dos dejetos, ocorre, também, o aumento da concentração de nutrientes, fazendo com que os dejetos se tornem mais valorizados, do ponto de vista agrônomo (HONEYMAN, 2005).

Nesse sistema de produção, os dejetos se acumulam ao material utilizado e são expostos à ação de microrganismos, responsáveis por transformações biológicas, físicas e químicas que ali acontecem, o que determina o nível de estabilização do composto (CORRÊA et al., 2009).

Os materiais utilizados na cama são capazes de absorver fezes, urina e água. A cama sofre uma decomposição parcialmente aeróbia, ocasionando redução no volume de dejetos e formação de um resíduo sólido com potencial fertilizante (GIACOMINI; AITA, 2008).

Os nutrientes encontrados em maiores quantidades, nos dejetos de suínos, são o nitrogênio e o fósforo. Na maioria dos casos, cerca de 50% do nitrogênio, encontram-se na forma mineral e perdas de N, por meio da

volatilização da amônia podem ocorrer, o que, além de poluir o ar, também, reduzem o potencial fertilizante do dejetos (BASSO et al., 2004). Tanto o nitrogênio como o fósforo são fatores limitantes do crescimento dos vegetais e, por isso, tornaram-se alguns dos principais fertilizantes utilizados, atualmente, na agricultura (BRAGA et al., 2005).

Feder e Findeling (2007) relatam que, quando o fornecimento de nitrogênio pelos dejetos supera a demanda das culturas e as condições ambientais são propícias à lixiviação, o nitrogênio na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) poderá ser lixiviado juntamente com a água de percolação.

### **2.3 Biofertilizante**

O biofertilizante é um adubo natural que serve para nutrir as plantas na busca de aumentos significativos no rendimento das culturas, uma vez que este produto pode ser preparado no local considerando os resíduos dos animais (SANTOS et al., 2007).

Porém, para aplicar efluentes no solo, alguns cuidados deverão ser tomados, como a definição da taxa de aplicação, a qual deverá ser baseada em estudos da composição química do efluente e da dosagem de nutrientes recomendados, para cada tipo de cultura agrícola, senão sérios danos ambientais poderão ser causados, tais como contaminação química ou microbiológica do meio ambiente (SEGANFREDO, 2007).

Segundo Rodrigues et al. (2008), a matéria orgânica quando adicionada ao solo em quantidades adequadas, conforme o grau de sua decomposição, que é promovida pela biomassa microbiana do solo faz com que ocorra a mineralização, a qual pode ter efeito imediato ou residual, por meio de um processo mais lento de decomposição o qual é fundamental na liberação dos nutrientes constituintes das estruturas dos compostos orgânicos. Os nutrientes

liberados nesses processos poderão ser imobilizados pelos organismos e utilizados na síntese de novos compostos orgânicos, ou mineralizados e liberados para a solução do solo. Sendo assim, a matéria orgânica possibilita a liberação dos nutrientes às plantas de acordo com as suas exigências (MELO et al., 2000).

De acordo com Berwanger, Ceretta e Santos (2008), os fertilizantes advindos dos dejetos de suínos não são balanceados para uso nas culturas. Os autores consideram difícil o ajuste entre as necessidades das plantas, quantitativa e temporalmente, e a oferta dos nutrientes pelo solo, ar e água. Seganfredo (2007) complementa que os fertilizantes químicos são formulados, conforme as condições específicas de cada cultura e solo, já os dejetos de suínos apresentam, simultaneamente, vários nutrientes que se encontram em quantidades desproporcionais em relação à capacidade extração das plantas.

Barros et al. (2005), estudando os efeitos da aplicação de água residuária da suinocultura sobre algumas características químicas de um latossolo, avaliaram a variação das formas de nitrato e amônio em relação ao nitrogênio mineralizado. O experimento foi conduzido em diferentes condições de temperatura e conteúdos de água. O melhor desempenho foi a 25°C na qual os microrganismos realizaram maior nitrificação. As amostras foram incubadas e quantificaram-se as concentrações de amônio e nitrato aos 3, 6, 12, 24, 48 e 96 dias. Durante este período, foram analisados condutividade elétrica, pH, nitrogênio total e carbono. Concluíram que a aplicação da água residuária de suíno, aos três dias de incubação, contribuiu para o aumento do pH e da condutividade elétrica. Aos 96 dias de incubação, houve aumento na condutividade elétrica tanto para o solo sem a água residuária, quanto para aquele com água residuária. Em relação ao pH, não houve muita alteração no solo sem a água residuária, aos 96 dias, no que diz respeito aos obtidos no solo

aos 3 dias de incubação. Já o pH no solo com a água residuária permaneceu elevado em relação ao solo sem a água residuária.

## 2.4 Biodigestão anaeróbia

Por meio da biodigestão anaeróbia, pode-se obter o biogás e o biofertilizante, que são dois produtos valiosos (NIELSEN; SEADI; POPIEL, 2009).

A Figura 1 mostra as principais etapas da biodigestão anaeróbia em resíduos orgânicos.

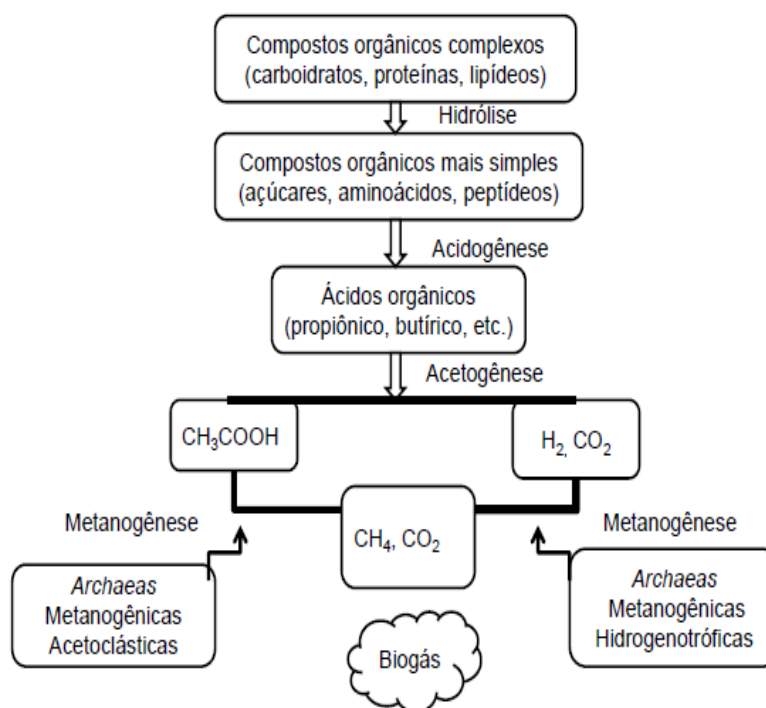


Figura 1 Sequência metabólica envolvida na digestão anaeróbia

Fonte: Adaptado de Macêdo (2006).

A biodigestão anaeróbia ocorre, quando colônias mistas de microrganismos, na ausência de oxigênio, em condições ideais para se proliferar, alimentam-se de sólidos voláteis solúveis na biomassa em tratamento. O biogás é produzido, quando é adicionado um volume de biomassa residual em estado líquido ou pastoso no interior de biodigestores, por um tempo suficiente para que ocorra formação do biogás.

De acordo com Chernicharo (2007), as quatro fases do processo da digestão anaeróbia podem ser assim definidas:

**Hidrólise:** é a fase inicial do processo anaeróbio, em que a matéria orgânica particulada é convertida em materiais dissolvidos mais simples. Essa degradação ocorre pela ação das bactérias hidrolíticas, sendo necessária a produção de exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas que degradam proteínas, aminoácidos e carboidratos em mono e dissacarídeos e convertem lipídeos em ácidos graxos de cadeia longa e em glicerina.

**Acidogênese:** é a conversão dos produtos solúveis da hidrólise em composto que incluem ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido láctico, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio, por meio da ação das bactérias fermentativas acidogênicas as quais são estritamente anaeróbias, no entanto, cerca de 1% são facultativas, de grande importância, pois consomem o oxigênio presente no meio tóxico às bactérias anaeróbias estritas.

**Acetogênese:** as bactérias acetogênicas são responsáveis pela conversão de um espectro amplo de compostos gerados na fase acidogênica em substrato apropriado para as *archaeas* metanogênicas. Os produtos gerados são: hidrogênio, dióxido de carbono e acetato. Durante a formação dos ácidos acético e propiônico, grande quantidade de íons hidrogênio é formada fazendo com que o valor do pH no meio aquoso decresça.

**Metanogênese:** é a etapa final do processo de degradação anaeróbia, em que são produzidos o metano e o dióxido de carbono. Tais produtos são gerados,

por meio das *archaeas* metanogênicas, que utilizam os compostos orgânicos oriundos da fase acetogênica. Em função da afinidade por diferentes substratos, as *archaeas* metanogênicas são divididas em dois grupos principais: as acetoclásticas que forma metano, com base no ácido acético ou metanol e as hidrogenotróficas, que utilizam hidrogênio e dióxido de carbono na formação de metano.

#### **2.4.1 Fatores que influenciam a digestão anaeróbia**

Alguns fatores podem interferir no processo da digestão anaeróbia. Temperatura e pH do resíduo a ser degradado são alguns deles (LEITE et al., 2004).

A temperatura está relacionada diretamente com o processo biológico, por isso é considerada um dos fatores físicos mais importantes da digestão anaeróbia. Os microrganismos não possuem meios para o controle da sua temperatura interna, assim, ela fica sob controle ambiental (CHERNICHARO, 2007).

É desejável que a temperatura do processo seja constante, pois, mudanças bruscas podem causar desequilíbrio nos microrganismos, principalmente, nas bactérias formadoras de metano. Há diferentes intervalos de temperatura, dentre os quais se realiza a fermentação anaeróbia: a psicofílica (menor que 30°C), a mesofílica (que varia de 30 a 40°C) e a termofílica (compreendida entre 50 a 60°C). Entretanto, os microrganismos anaeróbios são mais ativos nas temperaturas mesofílica e termofílica (YADVIKA et al., 2004).

Em relação ao pH, seu valor e sua estabilidade no reator são de extrema importância, pois uma taxa elevada de metanogênese só pode se desenvolver quando o pH se mantiver numa faixa estreita, apesar de se conseguir formar metano com pH variando de 6,0 a 8,0. Valores abaixo de 6,0 e acima de 8,0



devem ser evitados, pois podem inibir, completamente, a atividade das bactérias formadoras de metano (CHERNICHARO, 2007).

Conforme Yadvika et al. (2004), a quantidade de dióxido de carbono e ácidos graxos voláteis produzidos, durante o processo anaeróbio, afeta o pH dentro do biodigestor. Para a fermentação anaeróbia ocorrer normalmente, a concentração de ácidos graxos voláteis, principalmente, a de ácido acético, deve ser em torno de  $2.000 \text{ mg L}^{-1}$ .

Outro fator a ser considerado é o tamanho da partícula, uma vez que a mesma pode interferir no processo de produção do biogás. Uma partícula grande pode dificultar a ação dos microrganismos sobre o substrato e, ainda, vir a obstruir o biodigestor. Contudo, partículas menores possuem uma superfície de contato maior, o que favorece a produção de biogás, já que a atividade microbiana ocorre de forma mais rápida (YADVIKA et al., 2004).

## **2.5 Modelos de biodigestores**

Conforme informam Deganutti et al. (2002), o biodigestor é uma câmara fechada onde é adicionado o material orgânico, em solução aquosa. Esse material sofre decomposição, formando o biogás, que irá se acumular na parte superior da câmara. Digestão anaeróbia é o nome dado a esse processo.

Os biodigestores constituem uma forma viável para o tratamento de resíduos. Este sistema é usado mundialmente e apresenta pontos positivos como a produção de biogás, biofertilizante, controle de parasitas (AMARAL et al., 2004).

Atualmente, existem diferentes modelos de biodigestores, porém cada um adaptado a uma realidade, como o volume e periodicidade de resíduos a tratar e a necessidade de biogás (DEGANUTTI et al., 2002).

A seguir são descritos os modelos de biodigestores mais empregados na produção agropecuária no Brasil.

### 2.5.1 Biodigestor modelo indiano

O modelo deste biodigestor tem como característica apresentar uma câmpnula como gasômetro, a qual pode ser 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 (Figura 2). A função desta parede divisória é fazer com que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação.

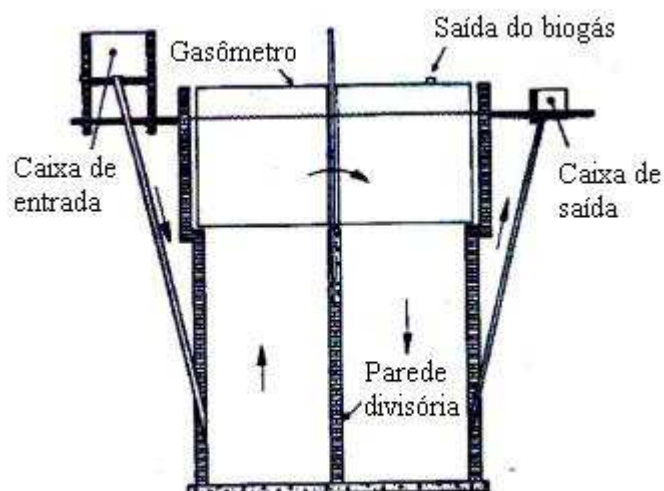


Figura 2 Esquema em corte do biodigestor modelo indiano  
Fonte: BENICASA; ORTOLANI; LUCAS JÚNIOR (1991).

O biodigestor indiano possui pressão de operação constante. Se o volume do gás produzido não for consumido de imediato, o gasômetro tende a se deslocar verticalmente, com isso o volume do gás aumentará e a pressão no interior do gasômetro permanecerá constante (DEGANUTTI et al., 2002).

Segundo Benincasa, Ortolani e Lucas Júnior (1991), no biodigestor indiano, a concentração de sólidos totais (ST) dos resíduos não deve ultrapassar 8%, pois caso ultrapasse essa porcentagem, a circulação do resíduo pelo interior da câmara de fermentação pode ser prejudicada, causando entupimentos dos tubos de entrada e saída do material. No meio rural, o abastecimento é feito, em sua maior parte, com dejetos de suínos ou de bovinos, o qual deverá ser realizado constantemente.

O modelo indiano é considerado de fácil construção, porém o gasômetro de metal pode encarecer o custo final (DEGANUTTI et al., 2002).

### **2.5.2 Biodigestor modelo chinês**

O modelo chinês é mais rústico e pode ser construído em alvenaria, possui teto abobado impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. Funciona, normalmente, com alta pressão, que varia em função da produção e consumo do biogás. Dispensa o uso de gasômetro em chapa de aço, reduzindo o custo, no entanto, podem ocorrer problemas com vazamento do biogás, se a estrutura não for bem vedada e impermeabilizada (Figura 3) (DEGANUTTI et al., 2002).

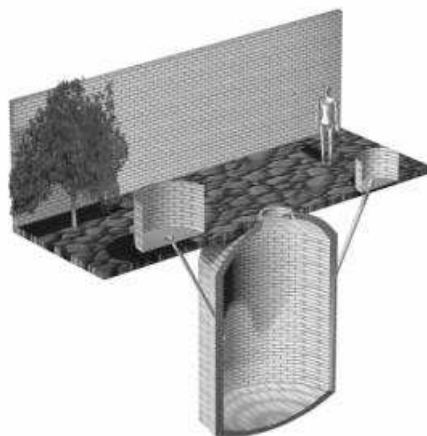


Figura 3 Representação tridimensional em corte do biodigestor modelo chinês  
Fonte: DEGANUTTI et al. (2002).

Da mesma forma que o modelo indiano, o substrato deverá ser fornecido, continuamente, com a concentração de sólidos totais em torno de 8%, para evitar entupimentos do sistema de entrada e facilitar a circulação do material (BENICASA; ORTOLANI; LUCAS JÚNIOR, 1991).

### **2.5.3 Biodigestor de fluxo tubular ou modelo canadense**

O biodigestor de fluxo tubular, também conhecido como modelo canadense, é uma estrutura horizontal. Ele possui uma caixa de entrada, para onde são canalizados os dejetos, provenientes dos galpões, uma câmara de fermentação subterrânea revestida com lona plástica ou construída em concreto ou alvenaria; uma manta superior para reter o biogás, produzido de modo a formar uma campânula de armazenamento; uma caixa de saída, de onde o biofertilizante pode ser conduzido para seu armazenamento e complementação do tratamento em estruturas como lagoas, por exemplo; um registro para saída do biogás podendo haver um queimador, conectado ao registro de saída do biogás (Figura 4). Para não ocorrer vazamento de gás, o biodigestor deve ser

cercado e seus arredores limpos, isso para não ocorrer furos na manta plástica superior (PEREIRA; DEMARCHI; BUDIÑO 2009).

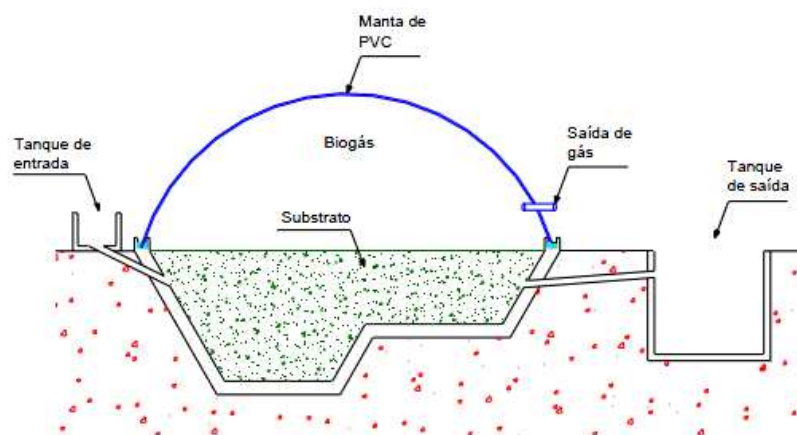


Figura 4 Biodigestor modelo canadense

Fonte: Nishimura (2009).

#### 2.5.4 Biodigestor modelo batelada

O biodigestor modelo batelada caracteriza-se por ser abastecido de uma única vez. O material utilizado na biodigestão permanece em fermentação por um período conveniente para obtenção do biogás.

Sua construção é considerada simples em relação a outros biodigestores, podendo ser recomendado para dejetos que contenham restos de palhas e areia, além disso, podem ser úteis para a obtenção de parâmetros de dimensionamento (XAVIER; LUCAS JÚNIOR, 2010).

Sua instalação poderá ser apenas um tanque anaeróbico, ou vários tanques em série.

Enquanto, os modelos chinês e indiano prestam-se para atender propriedades em que a disponibilidade de biomassa ocorre em períodos curtos,

permitindo coleta diária de biomassa, que deve ser encaminhada ao biodigestor, o modelo em batelada adapta-se melhor, quando essa disponibilidade ocorre em períodos mais longos como ocorre em granjas avícolas de corte, cuja biomassa fica à disposição, após a venda dos animais e limpeza do galpão (ORTOLANI; BENINCASA; LUCAS JÚNIOR, 1991), assim como também ocorre na criação de suínos em cama sobreposta.

## **2.6 Parâmetros físico-químicos de análise de resíduos**

A seguir são descritos alguns dos principais parâmetros físico-químicos amplamente empregados pela literatura na análise de resíduos.

### **2.6.1 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)**

A DBO é definida como a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica, ou seja, é o parâmetro utilizado para medir a quantidade de oxigênio consumido por microrganismos durante a degradação da matéria orgânica. Ela fornece uma medida indireta do teor de matéria orgânica nos esgotos e nos corpos de água. Quanto maior seu valor, mais poluído é o ambiente (VON SPERLING, 2005).

### **2.6.2 Demanda química de oxigênio (DQO)**

O teste de DQO tem como função medir o consumo de oxigênio ocorrido durante a oxidação química da matéria orgânica. O valor representa uma indicação indireta do teor de matéria orgânica presente.

A principal diferença desse parâmetro, em relação à DBO, é que ele corresponde a uma oxidação química da matéria orgânica, obtida por meio de

um oxidante forte (dicromato de potássio) em meio ácido, enquanto a DBO relaciona-se a uma oxidação bioquímica de matéria orgânica por microrganismos (VON SPERLING, 2005).

### **2.6.3 Sólidos totais fixos e voláteis**

Todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos. Por essa razão, os sólidos são analisados, separadamente, antes dos demais parâmetros. Simplificadamente, os sólidos podem ser classificados, de acordo com suas características físicas (tamanho ou estado), em sólidos suspensos, coloidais e dissolvidos. Quando um sólido é submetido a uma temperatura elevada (550°C), sua fração orgânica é volatilizada, permanecendo após a combustão apenas sua fração inorgânica. Os sólidos voláteis representam, portanto, uma estimativa da matéria orgânica nos sólidos, e os sólidos não voláteis (fixos) representam a matéria inorgânica ou mineral (VON SPERLING, 2005).

### **2.6.4 Nitrogênio total**

O nitrogênio Total inclui o nitrogênio orgânico, amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). É um nutriente indispensável para o desenvolvimento dos microrganismos no tratamento biológico. O nitrogênio orgânico e a amônia compreendem o denominado nitrogênio total Kjeldahl (NTK).

O nitrogênio orgânico encontra-se na forma de proteínas, aminoácidos e ureia. A amônia é produzida como primeiro estágio da decomposição do nitrogênio orgânico. O nitrito é encontrado no estágio intermediário da oxidação da amônia. E o nitrato é o produto final da oxidação do amônio (VON SPERLING, 2005).

### **2.6.5 Fósforo total**

O fósforo total é encontrado na forma orgânica e inorgânica. Ele é um nutriente indispensável no tratamento biológico. Pode se apresentar nas águas sob três formas diferentes: fosfatos orgânicos, ortofosfatos e polifosfatos. Os fosfatos orgânicos são a forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas. Os ortofosfatos, por outro lado, são representados pelos radicais  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  e  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  que se combinam com cátions formando sais inorgânicos nas águas. Os polifosfatos são moléculas mais complexas contendo dois ou mais átomos de fósforo (VON SPERLING, 2005).

### **2.6.6 Potencial hidrogeniônico (pH)**

O potencial hidrogeniônico (pH) é o indicador das características ácidas, básicas ou neutras de um meio qualquer. Uma solução será considerada ácida quando possuir pH inferior a 7, básica quando seu pH for superior a 7. E, quando a solução possuir pH igual a 7, ela se encontra neutra (VON SPERLING, 2005).



## REFERÊNCIAS

AMARAL, C. M. C. et al. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1897-1902, nov./dez. 2004.

ASSIS, F. O.; MURATORI, A. M. Poluição hídrica por dejetos de suínos: um estudo de caso na área rural do município de Quilombo, Santa Catarina. **Revista Eletrônica Geografar**, Curitiba, v. 2, n. 1, p. 42-59, 2007.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BARROS, F. M. et al. Características químicas do solo influenciadas pela adição de água residuária da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p.47-51, 2005. Suplemento.

BARTELS, H. Criação de suíno sobre cama. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto alegre, v. 2, n. 2, p. 27-29, 2001.

BASSO, C. J. et al. Perdas de nitrogênio de dejetos líquidos de suínos por volatilização de amônia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1773-1778, Nov./dez. 2004.

BENINCASA, M.; ORTOLANI, A. F.; LUCAS JUNIOR, J. **Biodigestores convencionais**. Jaboticabal: FUNEP, 1991.

BERWANGER, A. L.; CERETTA, C. A.; SANTOS, D. R. Alterações no teor de fósforo no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2525-2532, 2008.

BRAGA, B. et al. **Engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

CAMPOS, A. T. et al. Nitrogen fertilization by deep bedding swine production and its effects on dry matter production and accumulation of nutrients by maize. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 6, p. 1257-1267, nov./dez. 2013.

CAMPOS, A.T. et al. Nitrogen fertilization by deep-bedding swine production and its effects on the properties of a Quartzarenic Neosol. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 756-764, jul./ago. 2012.

CHERNICHARO, A. C. L. **Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo horizonte: Departamento de engenharia sanitária e ambiental, 2007.

CORRÊA, E. K. et al. Chemical and microbiological characteristics of rice husk bedding having distinct depths and used for growing-finishing swine. **Bioresource Technology**, Essex, v. 100, n. 21, p. 5318-5322, Nov. 2009.

CORRÊA, E. K. et al. Efeito de diferentes profundidades de cama sobre parâmetros ambientais para suínos em crescimento e terminação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 540-545, set./out. 2008.

DEGANUTTI, R. et al. **Biodigestores rurais: modelos indianos, chinês e batelada**. São Paulo: FAAC, 2002.

FEDER, F.; FINDELING, A. Retention and leaching of nitrate and chloride in an andic soil after pig manure amendment. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 58, n. 2, p. 393-404, Apr. 2007.

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

GIACOMINI, S. J.; AITA, C. Cama sobreposta e dejetos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 195-205, 2008.

HONEYMAN, M.S. Extensive bedded indoor and outdoor pig production system in USA: current trends and effects on animal care and product quality. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 94, n. 6, p. 15-24, 2005.

LEITE, V. D. et.al. Tratamento anaeróbico de resíduos orgânicos com baixa concentração de sólidos. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 4, p. 280-284, out./dec. 2004.

MACÊDO, J. A. B. **Introdução à química ambiental: química, meio ambiente e sociedade**. 2. ed. Juiz de fora: CRQ, 2006.

MELO, W. J. et al. Uso de resíduos em hortaliças e impacto ambiental. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 8, p. 67-81, ago. 2000.

NIELSEN, J. B. H.; SEADI, T.; POPIEL, P. O. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 100, n. 22, p. 5478-5484, Nov. 2009.

NISHIMURA, R. **Análise de balanço energético de sistema de produção de biogás em granja de suínos**: implementação de aplicativo computacional. 2009. 97 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

NOLASCO, M. A. et al. Implicações ambientais e qualidade da água da produção animal intensiva. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, Paraná, v. 3, n. 2, p. 19-26, abr./jun. 2005.

OLIVEIRA, P. A.; HIGARASHI, M. M.; NUNES, M. L. **Emissão de gases, na suinocultura, que provocam efeito estufa, sustentabilidade ambiental da suinocultura**. Concórdia. Embrapa Suínos e Aves, 2003. Disponível em: <[www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc\\_artigos/artigos\\_t763q2u.pdf](http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_artigos/artigos_t763q2u.pdf)>. Acesso em: 18 nov. 2012.

ORTOLANI, A. F.; BENINCASA, M.; LUCAS JUNIOR, J. **Biodigestores rurais**: modelos indiano, chinês e batelada. Jaboticabal: FUNEP, 1991.

PEREIRA, E. R.; DEMARCHI, J. J. A. A.; BUDIÑO, F. E. L. Biodigestores: tecnologia para o manejo de efluentes da pecuária. **Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios**, São Paulo, dez. 2009. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2009\\_4/biodigestores/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2009_4/biodigestores/index.htm)>. Acesso em: 19 jul. 2013.

RODRIGUES, G. S. O. et al. Quantidade de esterco bovino no desempenho agrônomico da rúcula (*Eruca sativa* L.), cultivar cultivada. **Revista Caatinga**. Mossoró, v. 21, n. 1, p. 162-168, jan./mar. 2008.

SANTOS, J. F. et al. Produtividade de feijão caupi utilizando biofertilizante e uréia. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 1, n. 1, p. 25-29, set. 2007.

SEGANFREDO, M. A. **Gestão ambiental na suinocultura**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007.

VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização**: volume 3. Belo horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 3. ed. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2005.

XAVIER, C. A. N.; LUCAS JÚNIOR, J. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 212-223, mar./abr. 2010.

YADVIKA, S. et al. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques: a review. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 95, n. 1, p. 1-10, Oct. 2004.

**SEGUNDA PARTE - ARTIGO****ARTIGO 1 Biodigestão anaeróbia de camas sobrepostas de suínos tratadas em biodigestores tipo batelada em escala laboratorial**

\*Rosicler Tavares do Amaral Tonelli

Alessandro Torres Campos

Pedro Ivo Sodré Amaral

Sérgio de Miranda Pena

Valdir Botega, Tavares

Tadayuki Yanagi Junior

**Artigo redigido conforme norma da NBR 6022 (ABNT, 2003).**

---

\* Química, Mestranda, Universidade Federal de Lavras, [rosicleratavares@yahoo.com.br](mailto:rosicleratavares@yahoo.com.br)  
Engenheiro Agrícola, Prof. Associado, DEG, Universidade Federal de Lavras, [campos@deg.ufla.br](mailto:campos@deg.ufla.br)  
Zootecnista, Mestre, Universidade Federal de Lavras, [pedroivosoamara@ig.com.br](mailto:pedroivosoamara@ig.com.br)  
Zootecnista, Prof. Doutor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sudeste de Minas Gerais / *Campus* Rio Pomba, [valdir.botega@ifsudestemg.edu.br](mailto:valdir.botega@ifsudestemg.edu.br)  
Zootecnista, Prof. Doutor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sudeste de Minas Gerais / *Campus* Rio Pomba, [sergio.pena@ifsudestemg.edu.br](mailto:sergio.pena@ifsudestemg.edu.br)  
Engenheiro Agrícola, Prof. Associado Doutor, DEG, Universidade Federal de Lavras, [yanagi@deg.ufla.br](mailto:yanagi@deg.ufla.br)

## **Biodigestão anaeróbia de camas sobrepostas de suínos tratadas em biodigestores tipo batelada em escala laboratorial**

### **RESUMO**

O sistema de criação de suínos, em cama sobreposta, tem se tornado atrativo pelos produtores, uma vez que o mesmo busca atenuar o problema da poluição ambiental e, ao mesmo tempo, fornecer melhores condições de bem estar aos animais confinados. Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o tratamento da cama sobreposta de suínos por meio de biodigestores modelo batelada. Para isso, foram utilizados dois materiais de cama como tratamento: um contendo a mistura de bagaço de cana-de-açúcar + maravalha e outro contendo apenas maravalha. Utilizaram-se 12 biodigestores laboratoriais com volume útil de 20L. O processo de biodigestão anaeróbia durou 60 dias. Os parâmetros analisados foram: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Totais (ST), Sólidos Voláteis (SV), Sólidos Fixos (SF), Nitrogênio Total, Fósforo Total e Potencial Hidrogeniônico (pH). As eficiências médias de remoção da DQO, DBO, ST, SF e SV, no tratamento utilizando bagaço de cana-de-açúcar + maravalha, foram de 60,9; 62,4; 54,9; 28,6 e 67,5%, respectivamente. No tratamento onde se utilizou somente maravalha as médias de remoção para DQO, DBO, ST, SF e SV foram de 61; 64,9; 44,9; 16,6 e 67,1%, respectivamente. Pelos resultados depreendeu-se que o sistema de tratamento biológico anaeróbio foi eficiente para reduzir e estabilizar a matéria orgânica dos dejetos de suínos. Com relação aos nutrientes fósforo total e nitrogênio total, seus valores aumentaram, após o tratamento, indicando características favoráveis para seus aproveitamentos como biofertilizante.

Palavras-chave: Construções rurais. Instalações para suínos. Manejo alternativo. Sustentabilidade. Dejetos de suínos. Impactos ambientais.

## 1 INTRODUÇÃO

O tratamento de questões ambientais, dentro das atividades econômicas, vem se tornando uma preocupação crescente. Resíduos produzidos por atividades agropecuárias, mineração e produção industrial possuem alto potencial poluidor da atmosfera, de águas e de solos e, dessa forma, precisam ser adequadamente tratados.

Dentro desse contexto, os resíduos gerados pelas atividades agroindustriais, principalmente os da suinocultura, configuram-se como foco de atenções, por apresentarem elevado potencial poluidor (ZORDAN; SALÉH; MENDONÇA, 2008).

A expansão da suinocultura tem como característica principal a grande concentração de animais por área. O crescimento dessa atividade traz, como consequência, a poluição das águas, dos solos e do ar, com emissão de maus odores, proliferação de insetos, o que causa desconforto à população (BARRETO; CAMPOS, 2009).

Os sistemas convencionais de criação de suínos necessitam de grande quantidade de água, para higienização das instalações, o que gera resíduos ricos em matéria orgânica (LOURENÇO; CAMPOS, 2009). Diante disso, o desenvolvimento de tecnologias alternativas que possam mitigar a contaminação de águas pelos dejetos de suínos descartados inadequadamente, constitui-se numa estratégia para evitar danos aos recursos hídricos e ao meio ambiente (HIGARASHI et al., 2008). Dentre essas estratégias, o sistema de criação de suínos em cama sobreposta tem se mostrado como uma opção interessante, uma vez que a mesma proporciona um pré-tratamento dos dejetos, por meio de um processo

semelhante ao da compostagem, na própria instalação, ao mesmo tempo em que proporciona melhores condições de bem estar aos animais.

A criação de suínos, baseada no sistema de camas sobrepostas, tem como princípio a substituição do piso convencional por uma cama de, aproximadamente, 0,5 m de profundidade, constituída por material rico em carbono. Vários tipos de materiais (substratos) podem ser utilizados como cama, desde que possuam como características a capacidade de absorver a água contida nos dejetos, sejam de fácil acesso tenham ampla disponibilidade na região e ser oriundos de fontes idôneas. Dentre esses substratos, destacam-se a casca de arroz, a maravalha, o bagaço da cana-de-açúcar, o sabugo de milho triturado e a palha de trigo (FERREIRA, 2012; TAIT et al., 2009).

Segundo Campos et al. (2012), o material utilizado como cama sobreposta não sai completamente estabilizado, havendo, portanto, a necessidade de um pós-tratamento do substrato. Sendo assim, o uso de biodigestores na complementação do tratamento dos dejetos (cama) se apresenta como uma proeminente alternativa, pois, além de reduzir a poluição ambiental, permite, por meio da biodigestão anaeróbia: (1) o reaproveitamento do resíduo na forma de biogás, o qual poderá ser usado como fonte energia e (2) a obtenção do biofertilizante (SOUZA et al., 2008).

A digestão anaeróbia é um processo biológico que ocorre na ausência de oxigênio, cujo grupo de bactérias fermentativas hidrolíticas, acidogênicas, acetogênicas e as *Archaeas* metanogênicas são responsáveis pela transformação de compostos orgânicos complexos em compostos mais simples, tais como metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)



(BUENO, 2010). A eficiência desse processo necessita de alguns fatores, dentre eles a relação carbono/nitrogênio do substrato, temperatura e pH (PEREIRA; CAMPOS; MOTTERAN, 2013).

Com este trabalho, objetivou-se avaliar o tratamento de cama sobreposta proveniente de instalação para suínos em biodigestores modelo batelada, com base em dois diferentes substratos.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Construções Rurais, Ambiente e Tratamento de Dejetos do Departamento de Engenharia, da Universidade Federal de Lavras, entre os meses de agosto e setembro de 2013.

### **2.1 Caracterização das instalações**

As camas sobrepostas, empregadas no experimento, foram coletadas nas instalações para suínos do setor de suinocultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sudeste de Minas Gerais – *Campus Rio Pomba*.

As instalações utilizadas caracterizam-se por possuírem: 35 m de comprimento, 20 m de largura, pé-direito de 3 m, com divisórias de alvenaria, ao longo dos galpões.

Foram utilizadas duas baias com o piso recoberto por uma camada de 0,50 m de cama sobreposta: uma contendo bagaço de cana-de-açúcar + maravalha e a outra, somente maravalha. Em uma plataforma de concreto, com dimensões de 4,0 x 3,0 m, foram instalados comedouros do tipo automático e dois bebedouros do tipo chupeta.

Sempre que o material de cama apresentou excesso de umidade em algum ponto foram realizados revolvimento e manejo de reposição.

## 2.2 Coleta das amostras

As amostras de camas sobrepostas foram coletadas nas instalações, logo após um período de, aproximadamente, noventa dias de permanência dos animais em fase de terminação, durante os meses de maio e julho de 2013.

Para coleta das amostras de cama sobreposta, aplicou-se a metodologia normatizada para a amostragem de solo de áreas contaminadas com distribuição sistemática de pontos para se obter amostras compostas representativas (CETESB, 1999).

As amostras foram coletadas na profundidade de 0,50 m, em três pontos de cada baia (Figura1). Logo após, foram inseridas em sacos plásticos e levadas ao laboratório, para realização das análises físico-químicas, para posterior abastecimento dos biodigestores.



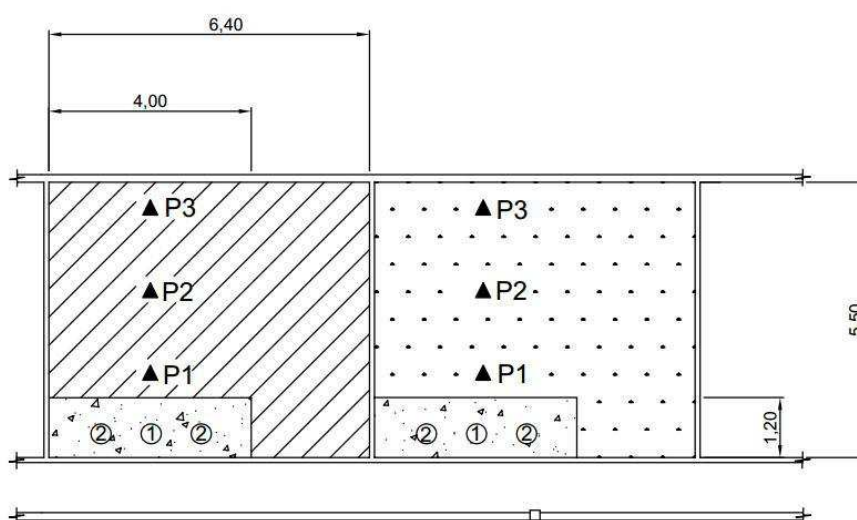
Figura 1 - Coleta em cama sobreposta

Na Figura 2, indica-se os pontos de coleta:

a) P1: ponto seco.

b) P2: ponto intermediário.

c) P3: ponto úmido.



### Legenda

①

Comedouro

②

Bebedouro

□

Piso concretado

▨

Cama de Maravalha + Bagaço

□

Cama de Maravalha

▲

P1, P2 e P3 - Coleta de amostra

Figura 2 - Pontos de coleta de amostras de cama sobreposta no interior de cada baía.

### **2.3 Parâmetros físico-químicos e análise dos dados**

No Laboratório de Análise de Água do Departamento de Engenharia (LAADEG), foram realizadas análises físico-químicas das amostras coletadas na entrada e saída dos biodigestores, seguindo a metodologia recomendada pela APHA et al.(2005).

Os parâmetros analisados foram: pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total, fósforo total, sólidos totais, fixos e voláteis.

Posteriormente, por meio do *software* estatístico *Minitab 16.1.0*, os dados do afluente e efluente foram submetidos à análise descritiva e foram confeccionados gráficos *boxplot*, onde se obtiveram as medianas, quartis, *out-liers* e valores extremos das concentrações e eficiência das remoções dos parâmetros analisados. A mediana foi utilizada como medida de tendência central e o intervalo entre quartis como medida de dispersão dos dados. Também foram calculadas as médias de cada tratamento e seus percentuais de redução.

### **2.4 Características dos biodigestores em escala laboratorial**

A construção dos biodigestores laboratoriais foi desenvolvida no Laboratório de Construções Rurais, Ambiente e Tratamento de Resíduos do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras.

Foram construídos doze protótipos de biodigestores de batelada, manufaturados em PEAD, com capacidade útil de 20 L. Cada biodigestor continha gasômetro independente. Os gasômetros foram confeccionados

com tubos de PVC de 25 e 20 cm e os tubos com diâmetro de 20 cm encontram-se inseridos no interior dos de 25 cm (Figura 3).

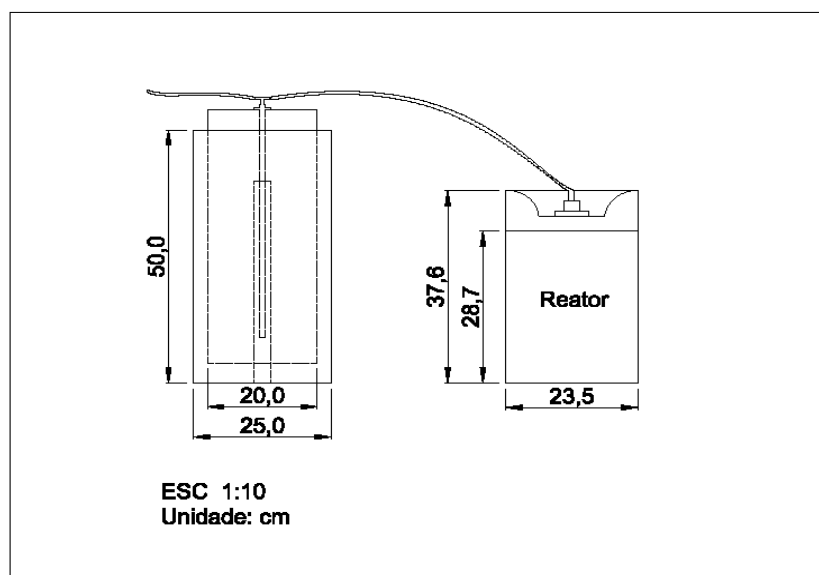


Figura 3 -Esquema contendo as dimensões dos biodigestores.

Os biodigestores receberam dois tipos de tratamento, com seis repetições.

Descrição dos tratamentos:

- a) T1 – Bagaço da cana-de-açúcar + maravalha+ inóculo+ água
- b) T2 – Maravalha + inóculo + água

Antes de abastecer os biodigestores, procedeu-se à homogeneização dos materiais utilizados para se obter uma mistura uniforme.

Com os afluentes preparados e homogeneizados, foram coletadas amostras para análises físico-químicas.

Para o abastecimento dos doze biodigestores, o substrato foi preparado para obtenção do teor de sólidos totais, próximo de 6%, para tanto foram pesados 4 kg de cama diluídos em 14 kg de água juntamente com 2 kg de inóculo (LUCAS JÚNIOR, 1994).

O experimento durou 60 dias, nos meses de agosto e setembro de 2013. O inóculo utilizado foi obtido considerando efluente de biodigestor modelo canadense, alimentado com dejetos líquidos de suínos.

A Figura 4 ilustra os biodigestores utilizados na pesquisa.



Figura 4 Biodigestores de bancada laboratoriais e os respectivos gasômetros utilizados na biodigestão da maravalha e da maravalha + bagaço da cana-de-açúcar.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios e a eficiência de redução de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Totais(ST), Sólidos Fixos(SF), Sólidos Voláteis (SV) referentes à entrada (afluente) e saída (efluente) dos biodigestores são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 Teores médios dos parâmetros físico-químicos e reduções em porcentagem das variáveis após tratamento nos biodigestores.

Parâmetros	Tratamento Cama sobreposta	Afluente	Efluente	Eficiência Total %
DBO (mg L <sup>-1</sup> )	BC+MAR	12020,8	4516,7	62,4
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	BC+MAR	30753,6	12031,6	60,9
DBO (mg L <sup>-1</sup> )	MAR	11666,7	4091,7	64,9
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	MAR	23388,4	9119,2	61,0
ST (mg L <sup>-1</sup> )	BC+MAR	23806,9	10744,4	54,9
SV (mg L <sup>-1</sup> )	BC+ MAR	16093,6	5238,1	67,5
SF (mg L <sup>-1</sup> )	BC+MAR	7713,3	5506,4	28,6
ST (mg L <sup>-1</sup> )	MAR	13163,1	7258,3	44,9
SV (mg L <sup>-1</sup> )	MAR	7361,9	2421,1	67,1
SF (mg L <sup>-1</sup> )	MAR	5801,8	4837,2	16,6

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Totais (ST), Sólidos Fixos (SF), Sólidos Voláteis (SV), Bagaço de cana-de-açúcar + Maravalha (BC + MAR), Maravalha (MAR).



### 3.1 Demanda bioquímica de oxigênio

Os valores médios de demanda bioquímica (DBO) foram reduzidos de 12.020,8 mg L<sup>-1</sup> para 4.516,7 mg L<sup>-1</sup> no tratamento com o bagaço de cana-de-açúcar e maravalha (BC+MAR), alcançando uma redução de 62,4%. Com base na mediana (Figura 5), pode-se verificar uma remoção de 62,3% de demanda bioquímica de oxigênio (DBO). No tratamento em que se utilizou maravalha (MAR), a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) passou de 11.666,7 mg L<sup>-1</sup> para 4.091,7 mg L<sup>-1</sup>, alcançando uma redução de 64,9%. Quanto à mediana, a eficiência foi de 65,8%.

Os valores encontrados, para a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), na entrada dos biodigestores, são considerados baixos em relação ao que se espera para dejetos de suínos. Isso ocorreu, provavelmente, pelo fato de o material já ter passado por uma degradação dentro das edificações. De acordo com Ferreira (2012), a concentração de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) dos dejetos desses animais varia entre 30.000 e 52.000 mg L<sup>-1</sup>, enquanto a do esgoto humano é de 200 mg L<sup>-1</sup>.

As reduções encontradas, após os tratamentos, são muito superiores ao valor permitido, para o lançamento de efluentes, estabelecido pelo CONAMA na resolução N<sup>o</sup> 430/2011, onde a Demanda Bioquímica de oxigênio poderá atingir o valor máximo de 120 mg L<sup>-1</sup> (BRASIL, 2011).

Pode-se observar, diante dos resultados obtidos, que os valores médios e medianos, encontrados nas remoções da demanda bioquímica de

oxigênio (DBO), para os dois tratamentos, foram próximos entre si, indicando que os dados se apresentam, aproximadamente, simétricos.

Conforme Martinez et al. (2003), a fase de armazenamento do dejetos não é inerte sendo, a decomposição da matéria orgânica em ambientes anaeróbios é muito significativa, porém acontece de forma mais lenta quando comparadas com tratamentos aeróbios.

Bueno (2010), comparando dois biodigestores modelo batelada, operados em escala piloto, considerando dejetos bovino em duas concentrações, visando à redução de matéria orgânica, alcançou eficiência na remoção da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) de 61,6% para o biodigestor I operado na proporção (1:2), sendo (1 dejetos: 2 água) e 43,8% para o biodigestor II operado na proporção (1:1), sendo (1 dejetos:1 água) .

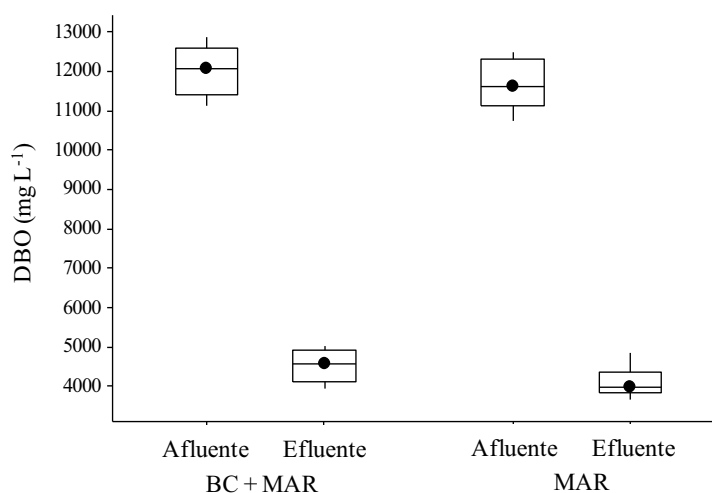


Figura 5 - Valores de mediana para demanda bioquímica de oxigênio (DBO) em cama sobreposta de suínos de bagaço de cana-de-açúcar + maravalha (BC + MAR) e maravalha (MAR), na entrada e na saída dos biodigestores modelo batelada.

### 3.2 Demanda química de oxigênio

De acordo com os resultados obtidos, observa-se que as concentrações de demanda química de oxigênio (DQO) foram elevadas e maiores que as concentrações de DBO (Figura 6).

O valor mediano no tratamento bagaço de cana-de-açúcar + maravalha (BC + MAR) passou de 33.396 mg L<sup>-1</sup> no afluente para 12.751,2 mg L<sup>-1</sup> no efluente, alcançando uma redução de 61,8%. Já no tratamento, utilizando maravalha (MAR), a demanda química de oxigênio (DQO) passou de 22.938,7 mg L<sup>-1</sup> para 9.018 mg L<sup>-1</sup> alcançando uma redução mediana de 60,9% (Figura 6).

As médias de demanda química de oxigênio (DQO) afluente e efluente do tratamento dos biodigestores compostos de bagaço de cana-de-açúcar + maravalha (BC + MAR) foram de 30.753,6 e 12.031,6 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente, com eficiência média na remoção de 60,9%. Nos biodigestores que continham a maravalha (MAR) os valores médios encontrados para o afluente foi de 23.388,4 mg L<sup>-1</sup> e para o efluente foi de 9.119,2 mg L<sup>-1</sup>, apresentando eficiência de remoção de 61,0% (Tabela 1).

Vivian et al. (2010) alcançaram eficiência na remoção da demanda química de oxigênio (DQO) de 98%, ao estudarem um sistema de tratamento de dejetos de suínos composto por biodigestor e lagoas de estabilização. Os teores médios de redução, observados neste experimento, são menores dos que os observados por Vivian et al. (2010), isso pode ser justificado em função dos autores terem utilizado a interação biodigestor e lagoas de estabilização (anaeróbias, facultativas e

duas de maturação) dispostas em série. Além disso, eles trabalharam com resíduos de maior biodegradabilidade, ou seja, dejetos líquidos de suínos.

Rodrigues et al. (2010) conseguiram uma eficiência na remoção da demanda química de oxigênio (DQO) de 93%, com concentração no efluente de  $800 \text{ mg L}^{-1}$  ao estudarem um sistema de tratamento anaeróbico de dejetos de suínos, contudo, utilizando reator UASB.

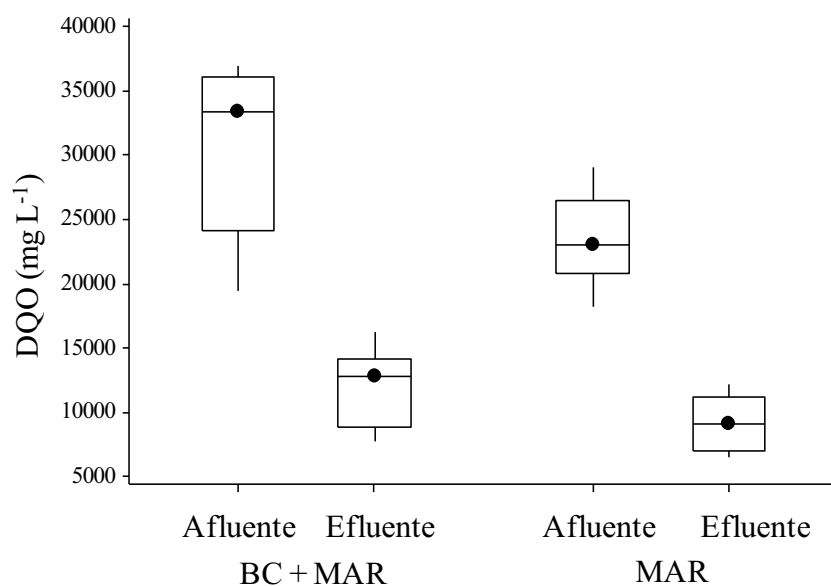


Figura 6 - Valores de mediana para demanda química de oxigênio (DQO) em cama sobreposta de suínos de bagaço de cana-de-açúcar + maravalha (BC + MAR) e maravalha (MAR), na entrada e na saída dos biodigestores modelo batelada.

### 3.3 Sólidos totais e voláteis

Analisando as quantidades de sólidos totais (ST) na entrada e na saída dos biodigestores (Figura 7), pode-se observar que o valor mediano

passou de 25.499 mg L<sup>-1</sup> para 8.985 mg L<sup>-1</sup> no tratamento com bagaço de cana-de-açúcar + maravalha (BC + MAR). A remoção nesse tratamento chegou a 65% e o menor abatimento ocorreu no tratamento com a maravalha (MAR), alcançando uma redução mediana de 18 %, que passou de 8.207 mg L<sup>-1</sup> para 6.693 mg L<sup>-1</sup>. Em relação às médias, as reduções foram de 54,9% para bagaço de cana-de-açúcar + maravalha (BC+ MAR) e 44,9% para a maravalha (MAR).

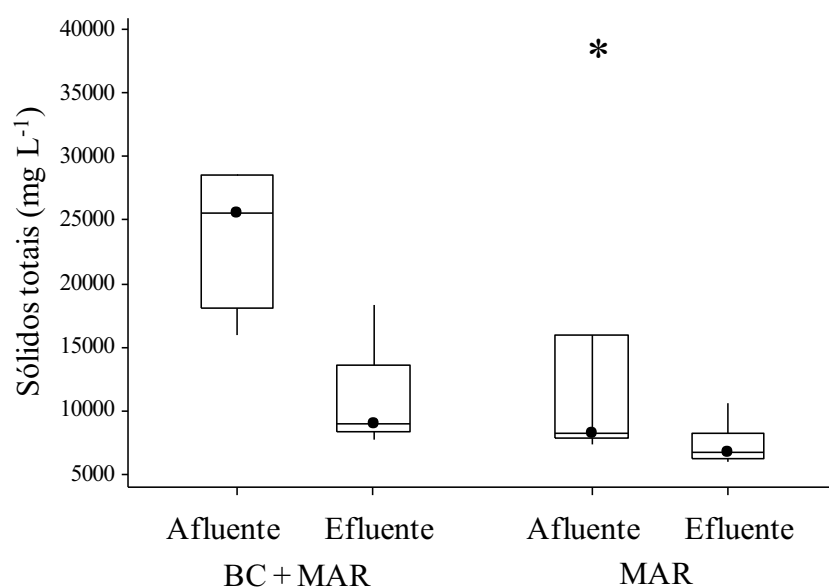


Figura 7 - Valores de mediana para sólidos totais (ST) em cama sobreposta de suínos de bagaço de cana-de-açúcar + maravalha (BC + MAR) e maravalha (MAR), na entrada e na saída dos biodigestores modelo batelada.

Em relação aos sólidos voláteis (SV), observam-se reduções médias acentuadas para os dois tratamentos bagaço de cana-de-açúcar + maravalha (BC + MAR) (67,5%) e maravalha (MAR) (67,1%), o que

comprova que o processo de biodigestão anaeróbia promoveu a redução dos materiais orgânicos adicionados (Tabela 1).

Orrinco Júnior, Orrico e Lucas Júnior (2010) avaliaram a biodigestão anaeróbia, porém, utilizando resíduos de cama de frango e carcaças de aves pré-compostados, utilizando três biodigestores do tipo batelada de campo, por um período de quatorze semanas. Observaram reduções de sólidos voláteis (SV) de 40,9; 44,4; 47,2%, respectivamente. Os valores encontrados por esses autores foram inferiores em relação aos encontrados neste trabalho.

Amorim, Lucas Júnior e Resende (2004), avaliando o efeito das estações do ano sobre a digestão anaeróbia de resíduos de caprinos, em biodigestores modelo batelada, com volume útil de sessenta litros de substrato em fermentação, e mantidos sob temperatura ambiente, encontraram reduções de sólidos voláteis (SV) de 38; 34; 33 e 39% para o verão, outono, inverno e primavera, respectivamente.

Misi e Foster (2001), utilizando misturas à base de dejetos de ovinos, caprinos e bovinos, resíduos do processamento de frutas e cama de frangos, em proporções diferentes, para abastecer biodigestores anaeróbios, obtiveram 34,1% de redução de sólidos voláteis (SV).

A utilização de dejetos de suínos com elevadas concentrações de sólidos como adubo pode provocar alteração na capacidade de infiltração do solo. Aplicações sucessivas intensificam essa redução, pois um dos fatores da infiltração decorre da adição de elevadas cargas de dejetos acima da capacidade de suporte do solo (OLIVEIRA et al., 2000).

### 3.4 Potencial hidrogeniônico (pH)

Tabela 2 Valores médios de potencial hidrogeniônico (pH) no afluente e efluente dos biodigestores

Parâmetro	Tratamento Cama Sobreposta	Afluente	Efluente
pH	BC + MAR	7,3	6,9
	MAR	8,0	6,9

O potencial hidrogeniônico (pH) do afluente bagaço da cana-de-açúcar + maravalha (BC + MAR) apresentou valor médio de 7,3. O efluente apresentou valor médio de 6,9 (Tabela 2). Observando o valor médio de entrada e saída dos biodigestores, percebe-se que não há diferença significativa entre esses, o que demonstra boas condições de tamponamento.

O tratamento com a maravalha (MAR) apresentou valor médio para o afluente de 8,0 e para o efluente de 6,9 (Tabela 2). Significa que esse tratamento, também, trabalhou com condições favoráveis para a digestão anaeróbia.

Tanto na entrada quanto na saída observam-se valores de potencial hidrogeniônico (pH) adequados, para um bom funcionamento da biodigestão anaeróbia.

O monitoramento do potencial hidrogeniônico (pH) é um fator de suma importância nos processos de biodigestão anaeróbia, pois as *Archaeas* metanogênicas são muito sensíveis a variações de pH. Valores abaixo de 6,0 e acima de 8,0 devem ser evitados (CHERNICHARO, 2007).

Analisando a Figura 8, verifica-se que os valores medianos afluente e efluente foram 7,5 e 6,9, respectivamente, para o tratamento bagaço da cana-de-açúcar + maravalha (BC + MAR). Nota-se que a mediana apresentou valor próximo à média encontrada no afluente e valor idêntico ao efluente em relação ao mesmo tratamento.

Para o tratamento com a maravalha (MAR), os valores medianos, encontrados na entrada e na saída do biodigestor, foram de 8,1 e 7,1, ou seja, praticamente os mesmos valores encontrados para as médias.

Durante a digestão anaeróbia, os valores de pH passaram de alcalinos para ácidos, exceto na mediana do tratamento com maravalha (MAR). Tal fato evidencia que as bactérias formadoras dos ácidos orgânicos fracionaram os substratos, aumentando a quantidade de íons  $H^+$ , que são os responsáveis pela queda do pH.

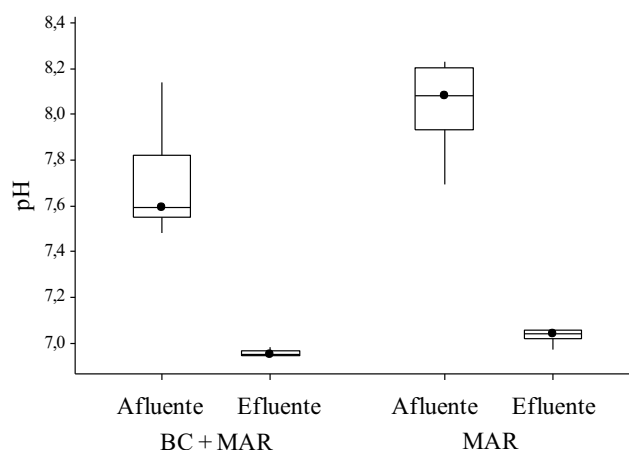


Figura 8 - Valores de medianas para potencial hidrogeniônico (pH) em cama sobreposta de suínos de bagaço de cana-de-açúcar + maravalha (BC + MAR) e maravalha (MAR), na entrada e na saída dos biodigestores modelo batelada.



### 3.5 Macronutrientes nitrogênio total e fósforo total

Os valores medianos da concentração de nitrogênio total e fósforo total, dos resíduos na entrada e na saída dos biodigestores podem ser observados nas Figuras 9 e 10. Para os tratamentos bagaço de cana-de-açúcar + maravalha (BC + MAR) e maravalha (MAR), os resultados encontrados para o nitrogênio foram de 720,3; 387,9 no afluente e 821,8; 367,5 mg L<sup>-1</sup> no efluente, respectivamente. Com relação ao fósforo total, os valores medianos, observados na entrada e na saída, foram de 44,7 e 51,5 mg L<sup>-1</sup> para o tratamento com bagaço de cana-de-açúcar + maravalha (BC + MAR) e para o tratamento usando somente maravalha (MAR) foi 31,1 e 32,5 mg L<sup>-1</sup> entrada e saída.

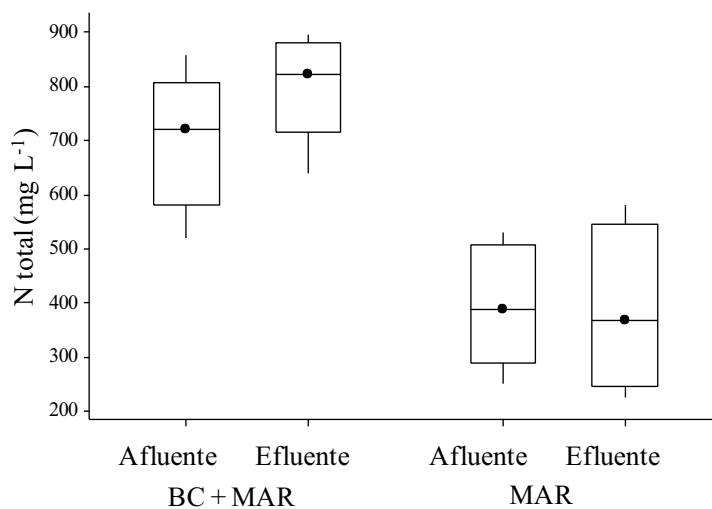


Figura 9 - Valores de mediana para nitrogênio total em cama sobreposta de suínos de bagaço de cana-de-açúcar + maravalha (BC + MAR) e maravalha (MAR), na entrada e na saída dos biodigestores modelo batelada.

Diante dos resultados encontrados, foram observados aumento nos teores medianos de nitrogênio total e fósforo total no efluente, quando comparados com o afluente no tratamento de bagaço de cana de açúcar + maravalha (BC + M). Provavelmente, os aumentos desses nutrientes ocorreram pelo fato do material inicial se apresentar bastante heterogêneo, o qual possuía partículas maiores dos materiais utilizados, em cama sobreposta, ainda, não degradados. Ao analisar o efluente, não foram observadas partículas maiores, ou seja, essas partículas foram degradadas, durante o processo da biodigestão anaeróbia, e os nutrientes contidos nas mesmas podem ter sido liberados, o que acarretou um aumento dos teores de nitrogênio e fósforo no efluente.

Belli filho et al. (2001), comparando sistemas de tratamento entre lagoas anaeróbias e biodigestores anaeróbios, concluíram que o uso dos biodigestores traz uma série de benefícios ambientais, além de aumentar o teor de fósforo disponível, aumento na disponibilidade de macronutrientes e micronutrientes.

Segundo Turner e Newman (2006), o elemento fósforo tende a acumular tanto em tecidos vegetais como em células microbianas e sedimentos, ele pode ser removido do sistema quando não se usam espécies vegetais. O fósforo não possui mecanismos de perda como no caso do nitrogênio que possui a desnitrificação, por exemplo.

O aproveitamento desses macronutrientes, presentes nos resíduos dos suínos para adubação, pode ser feito e está relacionado às necessidades inerentes à cultura e composição do solo, o que é específico para cada caso (SOUZA et al., 2009).

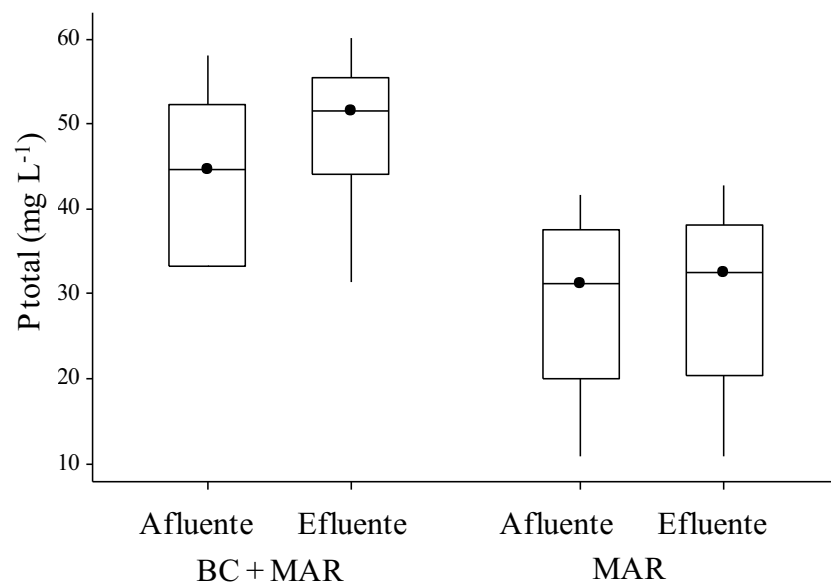


Figura 10 - Valores de mediana para fósforo total em cama sobreposta de suínos de bagaço de cana-de-açúcar + maravalha (BC+ MAR) e maravalha (MAR), na entrada e na saída dos biodigestores modelo batelada.

#### 4 CONCLUSÕES

- a) Os biodigestores mostraram-se eficientes na redução dos parâmetros físico-químicos (DQO, DBO, ST, SV e SF), para os dois tratamentos analisados: bagaço de cana-de-açúcar + maravalha e maravalha;
- b) Nos tratamentos analisados, não houve mudanças significativas de pH, o que indica bom tamponamento do sistema;
- c) Efluente acumulou nutrientes contidos nos dejetos e nos materiais utilizados como cama, conferindo aos materiais características fertilizantes. Isso pôde ser comprovado considerando as análises de nitrogênio total e fósforo total.

**Anaerobic digestion of swine overlapped beds, treated into boatload-type digesters in laboratorial scale**

**ABSTRACT**

The swine breeding system in deep litter has been becoming attractive for breeders, since seeks to attenuate the environmental pollution problem and, at the same time, provides better welfare conditions for confined animals. This work was performed with the objective to evaluate the treatment of swine deep bed through boatload-type anaerobic digesters, using two materials, namely, one composed by wood shaving and another composed by sugar cane bagasse plus shavings. It was used 12 laboratorial digesters with working volume of 20 liters and, the anaerobic digestion process lasted approximately 60 days. Were analyzed the Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Solid (TS), Volatile Solid (VS), Fixed Solid (FS), Total Nitrogen, Total Phosphorus and hydrogenionic potential (pH). According to results, at the treatment with sugar cane bagasse plus shavings, the mean removal efficiencies for COD, BOD, TS, FS and VS were around 60.9, 62.4, 54.9, 28.6 and 67.5% respectively, and 61, 64.9, 44.9, 16.6 and 67.1% at the treatment with wood shaving. Therefore, the anaerobic biological treatment system was efficient in reducing and stabilizing the organic material of swine waste. The content of total phosphorus and total nitrogen increased after treatment, indicating favorable characteristics for their use as fertilizers.

Key-words: Rural buildibngs. Installations for swine. Alternative management. Sustainability. Swine waste. Environmental impacts.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. New York: APHA, 2005.

AMORIM, A. C.; LUCAS JÚNIOR, J.; RESENDE, K. T. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24.n. 1, p. 16-24, 2004.

BARRETO, A. C.; CAMPOS, C. M. M. Avaliação de um sistema de irrigação autopropelido aplicando água residuária de suinocultura. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, nesp., p. 1752-1757, 2009.

BELLI FILHO, P. et al. Tecnologias para o tratamento de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 166-70, jan./abr. 2001

BUENO, R. F. Comparação entre biodigestores operados em escala piloto para produção de biogás alimentado com estrume bovino. **Holos Environment**, Rio Claro, v. 10, n. 1, p. 111, 2010.

CAMPOS, A. T. et al. Nitrogen fertilization by deep-bedding swine production and its effects on the properties of a quartz arenic neosol. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 756-764, July/Aug. 2012.

CHERNICHARO, A. C. L. **Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Metodologia 6300. **Projeto CETESB-GTZ**, Brasília, 1999.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Legislação Ambiental. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Diário Oficial da União**, Brasília, 30 ago. 2006. p. 62.

FERREIRA, R. A. **Suinocultura**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2012.

HIGARASHI, M. M. et al. Concentração de macronutrientes e metais pesados em maravalha de unidade de suínos em cama sobreposta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v. 12, n. 3, p. 311-317, 2008.

LOURENÇO, A. M. P.; CAMPOS, C. M. M. Hydrodynamic behavior of a lab scale upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) operated with an adopted hydraulic retention time (HRT) of 12 hours. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1139-1144, 2009.

LUCAS JÚNIOR, J. **Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios**. 1994. 137 p. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.

MARTINEZ, J. et al. Influence of treatment techniques for pig slurry on methane emissions during subsequent storage. **Biosystems Engineering**, London, v.85, n. 3, p. 347-354, July 2003.

MISI, S. N.; FORSTER, C. F. Batch co-digestion of multi-componente agro-wastes. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 80, n. 1, p. 19-28, Oct. 2001.

OLIVEIRA, R. A et al. Influência da aplicação de águas residuárias de suinocultura na capacidade de infiltração de um solo podzólico vermelho –amarelo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 263-267, 2000.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. Biodigestão anaeróbia dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 546-554, maio/jun. 2010.

PEREIRA, E. L.; CAMPOS, C. M. M.; MOTTERAN, F.  
Physicochemical study of pH, alkalinity and total acidity in a system composed of anaerobic baffled reactor (UASB) in series with upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) in the treatment of pig farming wastewater. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 35, n. 3, p. 477-483, 2013.

RODRIGUES, L. S. et al. Avaliação de desempenho de reator UASB no tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 94-100, 2010.

SOUZA, C. F. et al. Caracterização de dejetos de suínos em fase de terminação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 2, p. 128-133, 2009.

SOUZA, C. F. et al. Produção volumétrica de metano: dejetos de suínos. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 219-224, jan./fev. 2008.

TAIT, S. et al. Anaerobic digestion of spent bedding from deep litter piggery housing. **Bioresource Technology**, Essex, v. 100, n. 7, p. 2210-2218, Apr. 2009.

TURNER, B. L.; NEWMAN, S.; NEWMAN, J. M. Organic phosphorus sequestration in sub-tropical treatment wetlands. **Environmental Science & Technology**, v. 40, n. 3, p. 727-773, Feb. 2006.

VIVIAN, M. et al. Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 320-325, Mar. 2010.

ZORDAN, MS; SALÉH, B. B.; MENDONÇA, A. Eficiência na remoção de nutrientes em lagoas de estabilização da granja escola Fesurv. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 1, n. 1, p. 51-62, 2008.