



MICHELLE PELLIZER DE ANDRADE

**EFICIÊNCIA DE BIODIGESTORES
CANADENSES NO TRATAMENTO DE
DEJETOS DE SUÍNOS EM DIFERENTES FASES
DE PRODUÇÃO**

LAVRAS – MG

2018

MICHELLE PELLIZER DE ANDRADE

**EFICIÊNCIA DE BIODIGESTORES CANADENSES NO
TRATAMENTO DE DEJETOS DE SUÍNOS EM DIFERENTES FASES
DE PRODUÇÃO**

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

Orientador

Dr. Alessandro Torres Campos

Co-orientadores

Dr. Alessandro Vieira Veloso

Dr. Tadayuki Yanagi Junior

LAVRAS - MG

2018

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

de Andrade, Michelle Pellizer.

Eficiência de biodigestores canadenses no tratamento de dejetos de suínos em diferentes fases de produção / Michelle Pellizer de Andrade. - 2018.

48 p. : il.

Orientador(a): Alessandro Torres Campos.

Coorientador(a): Alessandro Vieira Veloso, Tadayuki Yanagi Junior.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Biodigestão anaeróbia. 2. Manejo alternativo. 3. Instalações para suínos. I. Campos, Alessandro Torres. II. Veloso, Alessandro Vieira. III. Yanagi Junior, Tadayuki. IV. Título.

MICHELLE PELLIZER DE ANDRADE

**EFICIÊNCIA DE BIODIGESTORES CANADENSES NO
TRATAMENTO DE DEJETOS DE SUÍNOS EM DIFERENTES FASES
DE PRODUÇÃO**

**CANADIAN BIODIGESTERS EFFICIENCY IN SWINE WASTE
TREATMENT IN DIFFERENT STAGES OF PRODUCTION**

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

APROVADA em 16 de fevereiro de 2018

Prof. Dr. Alessandro Torres Campos	UFLA
Prof. Dr. Pedro Ivo Sodré Amaral	Unifenas
Prof. Dr. Leonardo da Silva Fonseca	Unifenas

Orientador

Dr. Alessandro Torres Campos

Co-orientadores

Dr. Alessandro Vieira Veloso

Dr. Tadayuki Yanagi Junior

LAVRAS - MG

2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus e a Irmã Benigna por iluminarem meu caminho guiando meus passos.

Aos meus pais, Gonçalo e Marcia, por serem fonte de inspiração e me apoiarem.

À minha querida irmã Flávia por ser meu porto seguro e estar comigo em todos os momentos de minha vida.

Ao pessoal do laboratório que tanto me ajudaram para que esse trabalho fosse possível.

À todos os amigos, em especial à Jac e Rosicler, por tornarem essa etapa mais leve e menos árdua.

À CAPES e CNPq pela concessão da bolsa para cursar o mestrado.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao professor Dr. Alessandro Torres Campos, ao professor Dr. Alessandro Vieira Veloso e ao professor Dr. Tadayuki Yanagi Junior pela oportunidade de aprendizado.

RESUMO

A suinocultura é uma atividade de grande importância para a economia do país, porém, também é reconhecida como de grande potencial poluidor, em razão de gerar grande quantidade de efluentes com elevada carga de matéria orgânica. Os dejetos não tratados, lançados no solo e nos mananciais de água, podem causar desequilíbrios ambientais. Para a minimização do impacto causado pelos resíduos é necessária a utilização de sistemas de tratamento, como o biodigestor. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência de biodigestores canadenses na redução de cargas poluentes de dejetos de suínos, por meio da análise de parâmetros físico-químicos. As análises foram realizadas no afluente e efluente dos biodigestores de três sítios de diferentes fases de criação (Sítio 1 – Reprodução e maternidade; Sítio 2 – Creche; Sítio 3 – Crescimento e terminação). Para a análise da eficiência na redução dos poluentes do dejetos foram analisados, na entrada e saída dos biodigestores, os seguintes parâmetros físico-químicos: Demanda química de oxigênio (DQO), Sólidos totais (ST), Sólidos fixos (SF), Sólidos voláteis (SV), Nitrogênio total, Fósforo total e pH. Com os resultados encontrados foi possível constatar que o sistema de tratamento anaeróbio foi diferente nos três sítios. O sítio de produção 1 foi que obteve maiores reduções: 17,12%; 25,77%; 64,18%; 67,48%; 48,20% e 78,07%, respectivamente para DQO, Nitrogênio, Fósforo, ST, SF e SV. Com os resultados obtidos foi possível constatar que o sistema de tratamento anaeróbio foi eficiente para reduzir e estabilizar a matéria orgânica do dejetos de suíno em todos os sítios, mas não o suficiente para que o efluente seja despejado em corpos hídricos. O efluente tem potencial para ser usado como biofertilizante.

Palavras-chave: Construções Rurais. Biodigestão anaeróbia. Poluição ambiental. Instalações para suínos. Criação em sítios. Manejo alternativo. Sustentabilidade.

ABSTRACT

A swine breeding is an activity of great importance for the economy of the country, however, it is also recognized as having great polluting potential, due to the generation of large quantities of effluents with emission of organic matter load. Untreated waste strewn in the soil and water sources can cause environmental imbalances. To minimize the impact caused by wastes, the use of treatment systems, as the biodigester, is needed. The objective of this study is to evaluate the efficiency of canadian biodigesters in the reduction of pollutant loads from pig manure, through the analysis of physical-chemical parameters. The analyzes were carried out in the affluent and effluent of the biodigesters from three sites of different breeding stages (Site 1 - Reproduction and maternity; Site 2 - Nursery; Site 3 - Growth and termination). In order to analyze the efficiency of the reduction of pollutants of the manure, the following physico-chemical parameters were analyzed at the entrance and exit of the biodigesters: Chemical oxygen demand (COD), Total solids (ST), Fixed solids (SF), Volatile solids (SV), total Nitrogen, total phosphorus and pH. With the results found, it was possible to verify that the anaerobic treatment system was different in the three sites. Production site 1 was the one with the highest reductions: 17.12%; 25.77%; 64.18%; 67.48%; 48.20% and 78.07%, respectively for COD, Nitrogen, Phosphorus, ST, SF and SV. With the results obtained it was possible to verify that the anaerobic treatment system was efficient to reduce and stabilize the organic matter of the swine supply in all the sites, but it is not enough for the effluent to pour into water bodies. The effluent has potential to be used as a biofertilizer.

Key words: Anaerobic Biodigestion. Environment pollution. Installations for pigs. Creation in production sites. Alternative management. Sustainability.

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	6
1	INTRODUÇÃO.....	6
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	7
2.1	Suinocultura no Brasil	7
2.2	Manejo e tratamento dos dejetos da suinocultura.....	8
2.3	Surgimento dos biodigestores.....	11
2.4	Processo de digestão anaeróbia	13
2.5	Modelos tradicionais de biodigestores	15
2.6	Parâmetros físico-químicos	18
2.6.1	pH	18
2.6.2	Sólidos totais, fixos e voláteis	18
2.6.3	Demanda química de oxigênio (DQO)	18
2.6.4	Nitrogênio total.....	19
2.6.5	Fósforo total	19
	REFERÊNCIAS	19
	SEGUNDA PARTE – ARTIGO	24
	ARTIGO 1 - BIODIGESTORES CANADENSES NO TRATAMENTO DE DEJETOS DA SUINOCULTURA DE DIFERENTES FASE	25

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

Preocupação recorrente nos dias atuais, o meio ambiente deve ser considerado antes que qualquer empreendimento seja instalado. Os sistemas de produção não são diferentes, principalmente aqueles onde se produzem dejetos de animais, que devem ser manejados corretamente para que não causem prejuízos à natureza.

Os dejetos de suínos, em especial, apresentam alta carga poluidora, que, aliada ao manejo inadequado, pode se tornar um problema ambiental.

A grande quantidade de dejetos produzidos diariamente, numa área reduzida, é o principal passivo ambiental do confinamento de suínos. Por isso, a atividade é considerada pelos órgãos ambientais como de grande potencial poluidor.

Se não há tratamento adequado, esses dejetos, lançados no solo e nos aquíferos, podem causar desequilíbrios ambientais, bem como trazer problemas de saúde às pessoas e aos próprios animais.

Algumas alternativas ao descarte usual nos corpos hídricos e solo devem ser levadas em consideração, tendo em vista o prejuízo que pode ser causado pelo descarte inadequado.

Um exemplo bastante aplicado é o uso dos dejetos como adubo orgânico, respeitando sempre as limitações impostas pelo solo, água e planta. Porém, nem sempre isso é possível, devido à alta concentração de matéria orgânica presente nos dejetos, assim como altos teores de nitrogênio e fósforo, além de poder conter possíveis patógenos.

Nesses casos, é necessário que haja outra alternativa que é tratar os dejetos adequadamente, de maneira que não ofereçam riscos de poluição quando

retornarem à natureza. Os tratamentos mais usuais utilizados são os biodigestores anaeróbios e as lagoas de estabilização.

O biogás formado no biodigestor tem como composição, principalmente, o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2). Estes dois produtos são os principais gases do efeito estufa, porém podem ser aproveitados na geração de energia elétrica, o que se apresenta como uma vantagem para os produtores de suínos.

O biofertilizante também gerado poderá ser aplicado em várias culturas, como forma de substituição ao fertilizante químico, devido à sua alta concentração de nutrientes.

O processo de digestão anaeróbia é sensível e para que seja eficiente, depende de vários fatores, tais como: a temperatura ambiente e o potencial hidrogeniônico (pH) do dejetos. Não ocorrendo de forma correta, a formação dos produtos gerados pode ser comprometida.

Portanto, conhecer as características e poder poluente dos dejetos a serem tratados passa a ser primordial, para se adequar a melhor forma de tratamento a ser empregada e a resposta do tratamento escolhido, sendo o objetivo com este trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Suinocultura no Brasil

Ao contrário de outras cadeias produtivas do agronegócio, a suinocultura brasileira é atividade que está em constante crescimento, evidenciado quando se analisa os vários indicadores econômicos e sociais, como volume de exportações, participação no mercado mundial, número de empregos diretos e indiretos, entre outros ligados à atividade. A produção de suínos evoluiu muito no quesito

tecnológico e ativou os modelos de criação dos produtores rurais e agroindustriais (FRIGO et al., 2017; GONÇALVES; PALMEIRA, 2006).

O Brasil apresenta condições favoráveis para aumentar o plantel de suínos por possuir mão-de-obra de baixo custo, a facilidade para manejo e tratamento de dejetos pelas grandes porções territoriais e topografia plana. (CARVALHO, 2009).

Segundo Relatório Anual da Associação Brasileira de Proteína Anual (ABPA, 2016), o estado de Minas Gerais, em 2015, ficou na quarta posição, com 11,4% em abate de suínos no Brasil.

Atualmente, o sistema de produção de confinamento intensivo convencional de suínos é o mais utilizado no Brasil. O referido sistema propicia aumento na produção do setor e, conseqüentemente, gera crescimento da atividade no país (GUIMARÃES et al., 2011).

Entretanto, esse sistema apresenta como característica a elevada produção de dejetos líquidos, gerando problemas de armazenamento, manejo, distribuição e poluição ambiental.

2.2 Manejo e tratamento dos dejetos da suinocultura

Reconhecida como atividade de alto potencial poluidor, a suinocultura gera grande quantidade de resíduos. Esses, quando dispostos inadequadamente, se tornam fonte de degradação ambiental (SOARES et al., 2010).

O aumento constante das atividades agrícolas resulta, conseqüentemente em um considerável aumento na produção de dejetos, ocasionando problema pela grande quantidade de organismos patogênicos presentes nesses dejetos, e pela contaminação da água e do solo. Além disso, segundo Oliveira (2004) e Calza et al. (2016), os sistemas de criação convencionais de suínos têm negligenciado os impactos que a atividade proporciona ao meio ambiente.

No Brasil, os resíduos oriundos de produção animal são importantes fontes de obtenção da biomassa. A sua utilização em sistemas biointegrados, com fins energéticos, favorece os aspectos econômicos e ambientais (CALZA et al., 2016).

Os resíduos manejados de maneira inadequada, como por exemplo, pela aplicação excessiva no solo ou transbordamento de esterqueiras, podem ocasionar a contaminação de rios, de lençóis subterrâneos, do solo e do ar (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2005).

Além disso, as instalações de suínos emitem odores e compostos voláteis como sulfato de hidrogênio (H_2S), amônia (NH_3) e gases de efeito estufa (CO_2 , CH_4 , N_2O , etc.) que resultam em reclamações e problemas de saúde por parte da população (EKPO et al., 2016).

A Resolução nº 357/2005 do CONAMA, legislação vigente no Brasil, classifica os corpos d'água, estabelece os padrões de qualidade das águas e estabelece os padrões de lançamento de efluentes. No entanto, a Resolução não estabelece sobre os parâmetros de segurança para o reuso de água na produção animal, portanto, se houver Legislação Estadual valerá a mais restritiva (PEREIRA; CAMPOS, MONTERANI, 2010).

De acordo com Leite (2011), a legislação vigente permite o lançamento dos resíduos em curso d'água após o tratamento dos mesmos, isso consiste na compatibilização da composição final ou remoção dos poluentes, de forma que esse tratamento não resulte em problemas ambientais tão graves.

Os dejetos oriundos da suinocultura possuem elevadas concentrações de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos em suspensão e nutrientes (ANGONESE, 2006). Esses dejetos possuem matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, manganês, ferro, zinco, cobre e outros elementos incluídos nas dietas dos animais (DARTORA; PERDOMO; TUMULERO, 1998). Isto representa uma fonte de fertilizantes, mas também uma fonte poluidora quando não tratado ou manejado inadequadamente (ANGONESE, 2006).

Dentre os recursos passíveis de degradação pela atividade suinícola, os recursos hídricos se destacam como os mais afetados, isso devido à característica do dejetivo líquido ser o principal resíduo da produção (PALHARES; CALIJURI, 2007).

Aliado a isso, há o problema de escassez de água, que é acentuada pela falta de manejo e uso inadequado dos recursos naturais. Portanto, os resíduos tratados mostram-se fundamentais no planejamento e na gestão sustentável dos recursos hídricos. Para este fim, os biodigestores são altamente eficientes, quando manuseados adequadamente (DA SILVA et al., 2012).

O sistema de criação intensiva se caracteriza por grande número de suínos em uma área restrita, fazendo com que seja gerada uma quantidade substancial de dejetos em uma área concentrada. Isso potencializa a contaminação, por meio dos elementos, nas suas diversas formas, principalmente, de nitrogênio e fósforo, além de outros minerais. (SEGANFREDO, 2007).

Esses minerais são nutrientes que, quando depositados em excesso nas águas, podem ocasionar o crescimento demasiado de algas, causando a eutrofização. Esse processo faz com que a água se torne turva, devido ao excesso desses elementos, o que desequilibra a sucessão normal da cadeia alimentar, favorecendo o crescimento excessivo das algas e vegetais com raízes. Com a coloração escura que a água passa a apresentar (verde, verde-escuro, verde-azulado ou marrom-escuro), a luz solar não penetra, não sendo possível realizar a fotossíntese, desta forma, prejudicando a utilização de mananciais de água potável (BRAGA et al., 2005).

Além da contaminação dos corpos hídricos, quando ocorre a degradação do material orgânico (fezes, urina, ração e outros) geram gases tóxicos que podem afetar a saúde, o desempenho dos suínos e a qualidade do ar. (ANGONESE et al., 2007).

Dentro desse contexto, o planejamento para o tratamento dos dejetos da suinocultura é baseado em processos físicos, químicos e biológicos que são capazes

de reduzir o potencial poluidor desses resíduos e convertê-los em produtos como o adubo orgânico, o biogás e em créditos de carbono (KUNZ; MIELE; STEINMETZ, 2009).

Neste sentido, Cabral et al. (2011) contextualizam que, com a inserção da indústria no processo produtivo, houve a contribuição para que houvesse o melhoramento das raças de suínos e com isso a consequente tecnificação do sistema de manejo, gerando grande produção de dejetos. Devido ao seu potencial poluidor, esses resíduos precisam de tratamentos específicos, que são estabelecidos por leis de proteção ambiental.

Os sistemas de biodigestão anaeróbia no manejo de resíduos oriundos da produção animal têm se apresentado como alternativa cada vez mais usual, capaz de resolver problemas como a poluição ambiental, a viabilização de empreendimentos econômicos em pequenas e médias propriedades rurais e a geração de energia renovável. Entretanto, ainda existem desafios a serem superados para que a suinocultura continue sendo provedora de renda, com equidade ambiental e social, conforme citado anteriormente (AIRES et al., 2014; PALHARES; CALIJURI, 2007).

Portanto, é relevante a avaliação e o desenvolvimento de alternativas de manejo e tratamento que minimizem o volume e a concentração de poluentes gerados pela atividade (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2005).

2.3 Surgimento dos biodigestores

O processo de produção de gás combustível a partir de resíduos orgânicos não é novo. O pesquisador Alessandro Volta descobriu em 1776 que o gás metano já era gerado como parte do chamado “gás dos pântanos” e era originado da decomposição, em ambientes fechados, de material vegetal. Apesar da descoberta, a

primeira instalação construída para a produção de gás combustível surgiu somente na segunda metade do século XIX (GASPAR, 2003).

A primeira instalação operacional destinada a produzir gás combustível que se tem relato, foi construída em 1857, em Bombaim, Índia, com o objetivo de abastecer um hospital de hansenianos. Mais tarde, em 1890, Donald Cameron projetou uma fossa séptica na Inglaterra, sendo que o gás produzido foi utilizado para iluminação pública (NOGUEIRA, 1986).

A abundância de energia advinda de fontes tradicionais em países desenvolvidos nas décadas de 1950 e 1960, fez com que o interesse na recuperação do biogás fosse perdida. Porém, em países com poucos recursos de capital e energia, como a Índia e a China, o biogás foi de grande valia e desempenhou um papel importante (CAETANO, 1995).

Em 1950, foi instalado na Índia, o primeiro Biodigestor de sistema contínuo. Na década de 1960, também foram desenvolvidas pesquisas com biodigestores na África do Sul (SGANZERLA, 1983).

Outro avanço também aconteceu em 1950, na Índia, onde foi formado o Gobar Gas Institute, que resultou na difusão da metodologia de biodigestores como forma de tratar os dejetos animais, obter biogás e ainda conservar o efeito fertilizante do produto final. Esse trabalho, até então nunca visto, permitiu a construção de quase meio milhão de unidades de biodigestão no interior daquele país.

O aproveitamento do gás metano como fonte de energia inspirou a China na construção de mais biodigestores. Entre 1958 e 1972, já haviam sido instalados 7,2 milhões de biodigestores na região do Rio Amarelo naquele país.

Na guerra fria, o temor dos chineses se concentrou na destruição, através de um ataque nuclear, de suas usinas de energia principais, que seria um colapso para o país, por isso houve um aumento repentino na construção de biodigestores como fonte de energia alternativa caso os inimigos destruíssem suas usinas.

Atualmente, os biodigestores são construídos com objetivos bem definidos, dependendo da necessidade de cada localidade ou país. O advento de biodigestores na China, na atualidade, se deve principalmente ao fato do país contar com milhões de pessoas para alimentar e o uso do biodigestor confere biofertilizante suficiente para produção dos alimentos necessários ao seu excedente de população. Por sua vez, a energia do biogás não é tão necessária frente à auto-suficiência do país em petróleo.

Já a Índia sempre teve como objetivo, no advento da tecnologia de biodigestores, diminuir a fome e a melhorar o déficit de combustíveis fósseis, isso porque é considerada um dos países mais populosos do mundo. Esse foi o motivo pelo qual foram desenvolvidos dois modelos diferentes de biodigestor: o modelo chinês, mais simples e econômico e o modelo indiano, mais sofisticado e técnico, para aproveitar melhor a produção de biogás.

No Brasil, nas décadas de 1970 e 1980, os biodigestores ganharam espaço, mas caíram posteriormente em descrédito. A falta de conhecimento e acompanhamento técnico desta tecnologia foram fatores determinantes para descontinuar a tecnologia. Na década de 1990, porém, a biodigestão anaeróbia mais uma vez ganhou força, colocando-se como alternativa para agregação de valor ao dejetos, além de propiciar degradação parcial da fração líquida, podendo ser utilizado como biofertilizante (LEITE et al., 2011).

2.4 Processo de digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia depende de vários fatores, assim como em qualquer processo biológico. Se não forem considerados, podem trazer insucesso ao sistema resultando em perdas dos potenciais energéticos existentes nos dejetos. A preocupação principal durante muitos anos, em relação aos dejetos animais, era sobre as condições do meio, o tempo de retenção e teores de sólidos que passariam

pelos biodigestores. No decorrer do tempo, surgiu a necessidade de se analisar também como a qualidade dos sólidos pode afetar no desempenho dos reatores (ORRICO JÚNIOR et al., 2010).

Alguns fatores são essenciais para a eficiência da degradação da matéria orgânica quando se diz respeito à digestão anaeróbia, sendo a temperatura e o pH do dejetos alguns deles (LEITE et al., 2004).

A temperatura do dejetos, como fator de grande importância no processo de fermentação do biodigestor, influencia o processo de degradação biológica, o volume de produção de gás e de biofertilizantes (FERNANDES, 2012).

A temperatura ambiente influencia a produção de biogás no processo de digestão anaeróbia, pois se ela não se mantiver constante e houver grandes variações, pode causar desequilíbrio nos microrganismos, principalmente, nas bactérias formadoras de metano. As temperaturas máximas e mínimas definem os limites da faixa em que o crescimento é possível, e a temperatura é dita ótima quando o crescimento é máximo. Por isso que, quando há variação na temperatura, os biodigestores tendem a produzir volumes menores de biogás (SREEKRISHNAN et al., 2004).

A faixa de temperatura para formação microbiana é bastante ampla (0° a 97°C). Porém, duas faixas de temperaturas são consideradas ótimas para a digestão anaeróbia, são elas a faixa mesofílica (30 a 35° C) e a faixa termofílica (50 a 55° C). Grande parte dos biodigestores anaeróbios são projetados para trabalharem na faixa mesófila, porém, também é possível a operação destes na faixa termofílica, embora a experiência nesta faixa não tem sido totalmente satisfatória. Ainda há muitas questões a serem esclarecidas, dentre elas, se os benefícios advindos superam as desvantagens, incluindo o suplemento de energia necessário para aquecer os biodigestores, a má qualidade do sobrenadante e a instabilidade do processo (CHERNICHARO, 1997).

O pH do meio também pode afetar diretamente as bactérias envolvidas no processo de fermentação anaeróbia. Se o valor do pH varia, pode trazer danos aos microrganismos, modificando suas estruturas e, conseqüentemente, fazendo com que eles percam suas características originais, aumentando ou diminuindo a toxicidade do meio (FERNANDES, 2012).

Segundo Sreekrishnan et al. (2004), gama mais adequada de pH no digestor é de 6,8 a 7,2. Já segundo Gao, Lin e Leung (2010) e Quadros et al. (2010), a operação ocorre bem em na faixa de 6,0 a 8,0.

Uma queda ou elevação no pH pode afetar ou inibir completamente, a atividade das bactérias formadoras de metano (CHERNICHARO, 1997).

Após a fermentação, a biomassa sai do digestor em estado líquido, quando é chamado de biofertilizante. Esse produto possui elevado material orgânico, ótimo para a fertilização de diversas culturas. Sua aplicação no solo aumenta-se substancialmente suas qualidades biológicas, químicas e físicas (BARICHELLO; HOFFMANN, 2010).

Outro produto de grande importância gerado no processo de digestão anaeróbia é o biogás, rico em metano e dióxido de carbono, que pode ser aproveitado para geração de energia elétrica e créditos de carbono.

Esses produtos gerados aumentam a produção agrícola e transformam produtos tradicionais rurais, trazendo a agregação de valor, organizando a produção, aumentando a conservação dos produtos e melhorando a logística da comercialização para os agricultores familiares (QUADROS et al., 2010).

2.5 Modelos tradicionais de biodigestores

Os resíduos gerados na suinocultura, na maioria das vezes, são usados inadequadamente como adubo orgânico, o que pode ocasionar a poluição ambiental, devido, principalmente, à infiltração do nitrogênio no solo e ao escoamento

superficial do fósforo, e muitas vezes, pelo lançamento direto dos dejetos nos cursos d'água. Os custos relativamente altos da aplicação desse resíduo nas lavouras, aliado ao seu alto potencial poluidor, torna necessário o desenvolvimento de técnicas de manejo economicamente viáveis e que não ofereçam riscos potenciais, principalmente, de poluição hídrica (OLIVEIRA, 2004).

Neste contexto, o biodigestor tem se destacado como um tipo de reator biológico que promove a degradação de dejetos animais em condições anaeróbias, trazendo como produtos o biofertilizante e o biogás (KUNZ; OLIVEIRA, 2008).

O biodigestor é composto basicamente de duas partes: uma câmara fechada, onde fica armazenada e ocorre a digestão da biomassa, e um gasômetro que serve para armazenar o biogás gerado.

Dentro do biodigestor, que funciona na condição anaeróbia, a biomassa entrará em contato com microrganismos, que em condições específicas, promoverá a degradação da matéria orgânica. Os subprodutos gerados serão o biofertilizante e o biogás, que ficarão previamente armazenados no biodigestor.

Entretanto, o sistema pode enfrentar limitações, devido, principalmente, à falta de conhecimento do manejo por parte dos usuários. Os aspectos microbiológicos básicos, vitais ao bom funcionamento do sistema, nem sempre são seguidos, o que acarreta perda de eficiência do biodigestor (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2005).

O biofertilizante gerado no biodigestor não pode ser descartado diretamente nos corpos d'água, pois ainda apresenta alto potencial poluidor. Seu uso agrícola deve seguir preceitos de balanço de nutrientes.

Uma alternativa utilizada como complemento do tratamento do efluente, após a saída do biodigestor, são as lagoas de estabilização, que se mostram interessantes aos produtores que possuem área disponível para a implementação do sistema, sendo eficiente na remoção de matéria orgânica e nutrientes (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2005). Mesmo usadas com a finalidade de

armazenamento do dejetos após o biodigestor, as lagoas de estabilização podem promover tratamento adicional ao dejetos, proporcionalmente ao tempo de armazenagem.

Com relação ao abastecimento de biomassa, o biodigestor pode ser classificado como batelada e contínuo. No tipo batelada, ou intermitente, a matéria-prima a ser fermentada é colocada no seu interior apenas uma vez e fica tempo suficiente para que seja realizada a decomposição pelos microrganismos. Após o tratamento da biomassa, o resíduo tratado é retirado para que se possa ser introduzida uma nova carga.

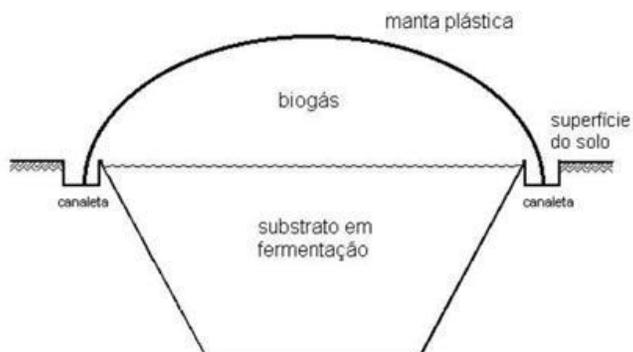
Já no modelo contínuo, o abastecimento de biomassa acontece diariamente, o volume permanece constante ao longo do tratamento, ou seja, para cada quantidade de resíduo que entra no biodigestor sairá uma quantidade de resíduo tratado igual.

Os biodigestores contínuos como os modelos indiano, canadense, chinês e filipino, são versáteis, sendo que os mais diferentes resíduos orgânicos podem ser usados como substrato no seu abastecimento. Sua operação necessita que haja carga diária (OLIVEIRA, 2004).

O biodigestor de fluxo tubular, também conhecido como canadense, objeto de estudo no presente trabalho, é caracterizado por possuir uma base retangular impermeabilizada cavada no chão, onde o substrato é depositado, com a largura maior que a profundidade, fazendo com que haja maior área de exposição ao sol (Figura1). O gasômetro é feito em manta flexível de PVC que pode ser retirado e facilita o manuseio e limpeza. A manta se infla à medida em que ocorre a produção de biogás. Esse modelo é mais usado em regiões quentes, onde a temperatura ambiente auxilia a manter a temperatura do biodigestor em níveis adequados para a realização do processo de digestão anaeróbia, o que aumenta, conseqüentemente, a produção de biogás. A composição desse tipo de biodigestor é basicamente uma caixa de distribuição, o gasômetro de PVC que é colocado em cima de uma lagoa

perfurada no solo e impermeabilizada e a tubulação de saída de gás como os seus componentes.

Figura 1: Seção transversal do biodigestor modelo canadense



Fonte: CERVI (2010).

2.5 Parâmetros físico-químicos

Para medir a eficiência de um biodigestor é necessário conhecer alguns parâmetros do dejetto que está sendo estudado, tanto antes como depois do tratamento. Os parâmetros utilizados no presente estudo serão apresentados nos próximos itens.

2.6.1 pH

O potencial hidrogeniônico (pH), representa a concentração de íons H^+ (em escala anti-logarítmica). Isso indica que se o pH for menor do que sete, a solução estará em condição ácida, se for igual a sete, estará em condição de neutralidade e se for superior a sete a solução estará em condição básica. Em termos de tratamento de águas residuárias, se o pH encontra-se em valores afastados da neutralidade, isso

tende a afetar as taxas de crescimento dos microrganismos (VON SPERLING, 2005).

2.6.2 Sólidos totais, fixos e voláteis

Os sólidos totais correspondem à matéria sólida, que permanece após a retirada da umidade contida nos dejetos. Esses resíduos totais são constituídos pelos sólidos fixos e sólidos voláteis. Os sólidos voláteis são constituídos pela fração orgânica dos sólidos totais, já os sólidos fixos se referem à parte inorgânica dos sólidos totais (SANTOS; SCHMIDT; BITENCOURT, 2007).

2.6.3 Demanda química de oxigênio (DQO)

A demanda química de oxigênio (DQO) mede o consumo de oxigênio que ocorre durante uma oxidação química da matéria orgânica, por meio de um forte oxidante, em meio ácido. O valor que é obtido retrata, indiretamente, o teor de matéria orgânica presente no esgoto e corpos hídricos. A diferença entre a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) está no fato desta consistir na degradação bioquímica através de microrganismos, enquanto a DQO precisa de uma oxidante forte no seu processo de oxidação (VON SPERLING, 2005).

2.6.4 Nitrogênio total

O nitrogênio está presente em várias formas e estados de oxidação, sendo as espécies químicas que apresentam maior relevância no ambiente são: o nitrogênio orgânico, o nitrogênio amoniacal (NH_3), nitrito (NO^{2-}) e nitrato (NO^3). O nitrogênio total é a soma da amônia livre e do nitrogênio orgânico. O aporte de nitrogênio pode causar alguns problemas ambientais que incluem: toxicidade aos peixes e aos organismos aquáticos por causa do nitrogênio amoniacal; metahemoglobinemia em

razão do nitrato e, transferência de compostos mutagênicos e carcinogênicos para a cadeia alimentar, em decorrência do nitrito (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2005).

2.6.5 Fósforo total

O fósforo se encontra na água sob três formas: ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico. Os ortofosfatos, dependendo do pH, se apresentam na água pelos radicais PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} e H_2PO_4^- , H_3PO_4 . Os polifosfatos são mais complexos e se apresentam com dois ou mais átomos de fósforo. Já os fosfatos orgânicos são considerados de menor importância e são as formas em que o fósforo compõe moléculas orgânicas (VON SPERLING, 2005).

REFERÊNCIAS

- ABPA- Associação Brasileira de Proteína Animal. **“Relatório anual 2016”** (2016). São Paulo P. 136.
- AIRES, A. W. et al. Avaliação do desempenho de um Biodigestor canadense modificado no Tratamento de dejetos de suínos. **ENGEVISTA**, Niterói, v. 16, n. 4, p. 329-338, dez. 2014.
- ANGONESE, A. R. **Reciclagem de dejetos de suínos através de biossistema integrado com biodigestor**. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2006. 90p.
- ANGONESE, A. R.; CAMPOS, A. T.; WELTER, R. A. Potencial de redução de emissão de equivalente de carbono de uma unidade suinícola com biodigestor. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 648-657, 2007.
- BARICHELLO, R.; HOFFMANN, R. **O uso de Biodigestores em Pequenas e Médias Propriedades Rurais com ênfase na agregação de valor: Um estudo de caso da Região Noroeste do Rio Grande do Sul**. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Santa Maria, 2010. 139p.

BRAGA, B. et al. **Engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Prentice Hall, 336 p, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, 18 de março de 2005.

CAETANO, L.; Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás, **Dissertação** - UNESP, *Campus* de Jaboticabal, p. 130, 1995.

CABRAL, J. R. et al. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 8, p. 823-831, 2011.

CALZA, L. F. et al. Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 6, 2016.

CARVALHO, H. G. **Planejamento e análise determinística do recurso mão-de-obra em projetos de instalações para suínos**. Dissertação (Mestrado em Construções e Ambiente) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2009. 91 p.

CERVI, R. G.; ESPERANCINI, M. S.T.; BUENO, O. C. Economic viability for electrical power generation using biogas produced in swine grange. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 831-844, 2010.

CHERNICHARO, A. C. L. **Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Seprac Editora Gráfica, Brasil, 1997. 246 p.

DA SILVA, W. T. L. et al. Avaliação físico-química de efluente gerado em biodegestor anaeróbico para fins de avaliação de eficiência e aplicação como fertilizante agrícola. **Revista Química Nova**, V. 35, n. 1, p. 35-40, 2012

DARTORA, V.; PERDOMO, C. C.; TUMULERO, I. L. Manejo de Dejetos de Suínos. **Boletim Informativo de Pesquisa** - Embrapa Suínos e Aves e Extensão - EMATER/RS. 32 pg. Ano 7. BIPERS nº 11. Março 1998.

EKPO, U. et al. Influence of pH on hydrothermal treatment of swine manure: impact on extraction of nitrogen and phosphorus in process water. **Bioresource technology**, Essex, v. 214, p. 637-644, 2016.

EVANGELISTA, A. W. P.; CARVALHO, L. G.; DANTAS, A. A. A.; BERNARDINO, D.T. Potencial erosivo das chuvas em Lavras, MG: distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno. **Irriga**, Botucatu, v.11, n.1, p.1 - 11, jan./mar. 2006.

FERNANDES, D. M. **Biomassa e biogás na suinocultura**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2012. 211 p.

FRIGO, K. D. D. A. et al. Treatments and utilization of swine waste in Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, v. 12, n. 8, p. 542-549, fev. 2017.

GAO, W. J. J.; LIN, H. J.; LEUNG, K. T. Influence of elevated pH shocks on the performance of a submerged anaerobic membrane bioreactor. **Process Biochemistry**, Oxford, v.45, n.8, p.1279-1287, 2010.

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**. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Estratégia Organizacional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. 106 p.

GONÇALVES, R. G.; PALMEIRA, E. M. Suinocultura brasileira. **Observatório de la Economía Latino americana**, Cuba, n.71, p. 01-11, 2006.

GUIMARÃES, G. G. et al. Desempenho de suínos de dois cruzamentos de linhagens comerciais criados em cama sobreposta. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v.60, n.229, p.11-18, 2011.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 22, n. 3, p. 651-665, 2005.

KUNZ, A.; MIELE, M.; STEINMETZ, R. Advanced swine manure treatment and utilization in Brazil. **Bioresource Technology**, Essex, v.100, n.22, p.5485-5489, 2009.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. Uso de biodigestores para tratamento de resíduos animais. Concórdia: **EMBRAPA-CNPSA**, 2008. 1p.

LEITE, R. A. et al. Avaliação do Biodigestor de Fluxo Tubular Contínuo Modelo Vinebiodigestor, Através de Análises Químicas Durante o Tratamento de Dejetos de Suínos. *UNOPAR Científica Ciências Exatas e Tecnológicas*, Londrina, v. 10, n. 1, p. 29-35, Nov. 2011.

LEITE, V. D.; LOPES, W. S.; SOUSA, J. T.; PRASAD, S. Tratamento anaeróbio de resíduos orgânicos com baixa concentração de sólidos. **Eng. sanit. ambient**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 4, p. 280-284, 2004.

NOGUEIRA, L.A. **Biodigestão: A Alternativa Energética**. São Paulo: Nobel, 1986. 93 p.

OLIVEIRA, P. A. V. Produção e aproveitamento do biogás. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas**. Concórdia: **EMBRAPA-CNPSA**, p. 43-55, 2004.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P. et al. Avaliação de parâmetros da biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos alimentados com dietas à base de milho e sorgo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.4, p.600-607, 2010.

PALHARES, J. C. P.; CALIJURI, M. C. Caracterização dos afluentes e efluentes suínocolas em sistemas de crescimento/terminação e qualificação de seu impacto ambiental. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 502-509, 2007.

PEREIRA, E. L.; CAMPOS, C. M. M.; MOTERANI, F. Avaliação do desempenho físico-químico de um reator UASB construído em escala piloto na remoção de poluentes de efluentes de suinocultura. **Ambiente e Água**, Taubaté, v. 5, n. 1, p. 79-88, 2010.

QUADROS, D. G. et al. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos em reator contínuo de PVC flexível. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.3, p.326-332, mar. 2010.

SANTOS, M. A. A.; SCHMIDT, V.; BITENCOURT, V. C. Esterqueiras: avaliação físico-química e microbiológica do dejetos suíno armazenado. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 537-543, 2007.

SEGANFREDO, M. A. **Gestão ambiental na suinocultura**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007, 302p.

SGANZERLA, E. **Biodigestores: uma solução**. Porto Alegre: Editora Agropecuária, 1983. 86p.

SOARES, M. T. S. et al. Caracterização físico-química de efluentes líquidos de granjas suínas tratados em biodigestor. **Simpósio sobre recursos naturais e socioeconômicos do pantanal**, v. 5, 2010.

SREEKRISHNAN, T. R.; YADVIKA, S.; KOHLI, S.; RANA, V. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques—a review. **Bioresource technology**, Essex, v. 95, n. 1, p. 1-10, 2004.

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. 243p.

SEGUNDA PARTE – ARTIGO

**ARTIGO 1 - BIODIGESTORES CANADENSES NO TRATAMENTO DE
DEJETOS DA SUINOCULTURA DE DIFERENTES FASES**

ARTIGO FORMATADO DE ACORDO COM AS NORMAS DA REVISTA
ENGENHARIA AGRÍCOLA

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho de um sistema de manejo e tratamento de resíduos da suinocultura por meio de biodigestores, a partir de seus parâmetros físico-químicos. Foram coletadas amostras na entrada e na saída dos biodigestores, de três sítios de criação (Sítio 1 – Reprodução e maternidade; Sítio 2 – Creche; Sítio 3 – Crescimento e terminação). Para a análise da eficiência na redução dos poluentes do dejetos foram analisados os seguintes parâmetros físico-químicos, na entrada e na saída: demanda química de oxigênio, sólidos totais, sólidos fixos, sólidos voláteis, nitrogênio total, fósforo total e potencial hidrogeniônico. Com os resultados obtidos foi possível constatar que o sistema de tratamento anaeróbio foi diferente nos três sítios. O sítio de produção 1 foi que obteve maior reduções: 17,12%; 25,77%; 64,18%; 67,48%; 48,20% e 78,07%, respectivamente para demanda química de oxigênio, nitrogênio total, fósforo total, sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis. No geral, os valores encontrados para os nutrientes fósforo e nitrogênio viabiliza seu uso como biofertilizante.

Palavras-chave: biodigestão anaeróbia, poluição ambiental, instalações para suínos, criação em sítios de produção, sustentabilidade.

ABSTRACT

The objective of the present study was to evaluate the performance of a system of handling and treatment of swine residues by means of biodigesters, based on their physicochemical parameters. Samples were collected at the entrance and exit of the biodigesters, from three breeding sites (Site 1 - Reproduction and maternity, Site 2 - Nursery, Site 3 - Growth and termination). The following chemical-physical parameters were analyzed: chemical oxygen demand, total solids, fixed solids, volatile solids, total nitrogen, total phosphorus and hydrogenion potential. With the results obtained, it was possible to verify that the anaerobic treatment system was different in the three sites. Production site 1 was the one with the highest reductions: 17.12%; 25.77%; 64.18%; 67.48%; 48.20% and 78.07%, respectively for chemical oxygen demand, total nitrogen, total phosphorus, total solids, fixed solids and volatile solids. In general, the values found for phosphorus and nitrogen nutrients allow its use as a biofertilizer.

Key words: anaerobic biodigestion, environment pollution, installations for pigs, creation in production sites, sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A suinocultura é atividade caracterizada principalmente pela produção intensiva e está em constante busca pelo aumento de produtividade. Em contrapartida, a alta produtividade gera quantidade excessiva de dejetos que apresentam elevado potencial poluidor e causa desequilíbrios ecológicos no meio ambiente (CARVALHO; SOUSA; SOTO, 2015; CARVALHO; NOLASCO, 2017).

A disposição inadequada desses resíduos resulta em considerável poluição ambiental, incluindo contaminação das águas subterrâneas, problemas de odor e transmissão de patógenos. As águas residuais de suínos geralmente são compostas de urina e fezes, por isso se caracterizam pela presença de alta demanda química de oxigênio (DQO), amônia, fósforo e sólidos. Por conseguinte, a digestão anaeróbia é uma das alternativas de tratamento mais promissoras para os dejetos líquidos de suínos devido à sua eficiência, confiabilidade e economia (WU et al., 2015).

O processo de digestão anaeróbica ganhou grande importância nas três últimas décadas. A fermentação anaeróbia dos dejetos de suínos proporciona como produto o biofertilizante, sendo fonte de nutrientes para diversas culturas e ainda produz o biogás, uma forma de energia renovável. Além disso, a prática fornece redução do custo de produção e reduz a poluição ambiental causada pelo lançamento do efluente no ambiente (SEDIYAMA et al., 2014; YENIGÜN; DEMIREL, 2013).

O biodigestor é o sistema de tratamento anaeróbio mais utilizado no Brasil para dejetos suínos, mais precisamente o modelo canadense. Esse biodigestor consiste basicamente em uma caixa de entrada, a câmara digestora, onde os dejetos serão propriamente tratados levando-se em consideração um tempo de detenção hidráulica. Usualmente os efluentes de suínos, depois de tratados nos biodigestores,

são conduzidos a uma lagoa anaeróbia e depois usados em campos agrícolas (IBEKWE et al., 2016).

A verificação das condições de operação dos biodigestores é feita por meio de alguns parâmetros físico-químicos. Tais parâmetros e sua relação representam o estado da biodigestão e pode prevenir possíveis problemas no sistema (SILVA et al., 2015).

O objetivo deste estudo foi acompanhar o processo de biodigestão anaeróbia em três diferentes sítios de criação, através de análises físico-químicas e microbiológicas do afluente e efluente gerado em biodigestores canadenses e suas respectivas eficiências, com vistas ao seu potencial como biofertilizante.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido na Fazenda São Paulo, que possui sistema de produção de suínos de ciclo completo, ou seja, unidade de produção que abrange animais do nascimento até o abate. A fazenda está localizada na Rodovia Fernão Dias - Zona Rural, Oliveira, estado de Minas Gerais, sendo situada à latitude de 20°50'55.20" Sul e longitude: 44°50'1.50" Oeste, com 982 m de altitude.

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima de Oliveira é Cwb, clima temperado úmido com inverno seco, precipitação média inferior a 60 mm em pelo menos um dos meses da estação e verão temperado, moderadamente quente, com a temperatura mais quente inferior a 22°C e, durante pelo menos quatro meses, é superior a 10°C (SÁ JÚNIOR, 2009).

O sistema de produção é composto por três sítios de produção e os dejetos oriundos dos galpões são manejados de forma líquida, coletados todos os dias e transportados através de tubulação feita em manilhas de concreto sob as edificações, onde são escoados, por meio da força da gravidade, para os tanques de equalização.

As rações consumidas pelos suínos em todas as fases de criação são produzidas na fazenda.

2.1 Características do sítio de produção 1

O sítio 1 é destinado à reprodução, gestação e maternidade, composto por 14 e 15 galpões, respectivamente, com área total das edificações de 25.552 m² em uma área total de 8,13 hectares (Figura 1). Nesse sítio, são criados 5.987 matrizes e 31 cachaços. O volume estimado de produção de biomassa residual no sítio 1 é de 94,8 m³ dia⁻¹.

Na reprodução e gestação, o arraçamento acontece duas vezes ao dia sendo que em cada trato se oferece 1,2 kg de ração; já na maternidade, o arraçamento é a vontade e as matrizes consomem cerca de 8 kg de ração dia.

A raspagem das baias é feita todos os dias a descarga duas vezes por semana.

O sistema de tratamento possui um decantador de alvenaria com uma base com dimensões de 6 x 5,5 m e 1,1 m de profundidade, com volume aproximado de 36,3 m³. A função desse decantador é separar a fração sólida da líquida do dejetos.

O dejetos líquido é então levado, através de tubos de PVC de 200mm, até uma caixa difusora de fluxo, construída em alvenaria, que distribui os resíduos para os dois biodigestores.

Os biodigestores realizam o tratamento, propriamente dito, dos resíduos. A parte subterrânea de cada biodigestor possui formato de tronco de pirâmide invertido, tendo a base menor (fundo do biodigestor) dimensões de 36 x 11 m, a base maior (superior) dimensões de 52 x 16 m e profundidade de 3 m, perfazendo volume aproximado de 1909 m³, sendo cobertos com geomembranas flexíveis (gasômetros) de policloreto de vinila (PVC), que apresentam 1,0 mm (1.000 µm) de espessura.

Após tempo de retenção hidráulica (TRH) de 40 dias nos biodigestores, os resíduos são escoados, por gravidade, através de tubos de policloreto de vinila (PVC) de 200 mm, para três lagoas de estabilização em série, que apresentam a mesma configuração de tronco de pirâmide invertido do biodigestor, apresentando como base menor dimensões de 19 x 10,5 e como base maior 28 x 15 m, com uma profundidade de 4 m e volume total aproximado de 1.180,5 m³.

A função dessa lagoa é armazenar o biofertilizante gerado, para, posteriormente, ser utilizado em áreas de pastagens e culturas anuais.

As paredes laterais e os fundos do tanque de equalização dos biodigestores e da lagoa de estabilização são revestidos com lona de impermeabilização de policloreto de vinila (PVC), que possui 0,8 mm (800 µm) de espessura.

Figura 1: Vista aérea dos galpões e sistema de tratamento do sítio 1.



A: Biodigestores canadenses.
Fonte: Google Maps.

2.2 Características do sítio de produção 2

O sítio 2 é composto por suínos na fase de creche, onde são alojados 16.070 animais, distribuídos em sete galpões, com área construída de 5.790 m² em um total de 1,73 hectares (Figura 2). O volume estimado de produção de biomassa residual, nesse sítio, é de 22,5 m³ dia⁻¹.

Na creche é estipulado um consumo de 25 kg de ração durante os 40 dias de permanência dessa fase.

A raspagem das baias é feita todos os dias e a descarga duas vezes por semana.

O sistema de tratamento possui um decantador de alvenaria com uma base com dimensões de 4 x 3,3 m e 1,1 m de profundidade, com volume aproximado de 14,5 m³. O dejetos é então levado através de tubos de PVC de 200mm, até uma caixa difusora de fluxo construída em alvenaria, que distribui os resíduos para os dois biodigestores.

A parte subterrânea de cada biodigestor tem como base menor 15 x 10 m e como base maior 21,5 x 14 m e profundidade de 3 m, perfazendo volume aproximado de 1180,5 m³, sendo cobertos com geomembranas flexíveis (gasômetros) de policloreto de vinila (PVC), que apresentam 1,0 mm (1.000 µm) de espessura.

Após tempo de retenção hidráulica (TRH) de 104 dias nos biodigestores, os resíduos são escoados, por gravidade, através de tubos de policloreto de vinila (PVC) de 200 mm, para duas lagoas de estabilização em série, tendo como base menor dimensões de 37,5 x 9 m e como base maior 53,5 x 12 m, com uma profundidade de 3,5m e volume total aproximado de 1891 m³.

As paredes laterais e os fundos do tanque de equalização, dos biodigestores e da lagoa de estabilização são revestidos com lona de impermeabilização de policloreto de vinila (PVC), que possui 0,8 mm (800 μm) de espessura.

Figura 2: Vista aérea dos galpões e sistema de tratamento do sítio 2.



A: Biodigestores canadenses.

Fonte: Google Maps.

2.3 Características do sítio de produção 3

No sítio 3, destinado ao crescimento e terminação, são alojados 26.644 suínos em 28 galpões com área construída de 26.072 m^2 em uma área total de 9,18 hectares, como mostra a figura 3. O volume estimado de produção de biomassa residual, no sítio 3, é de 172,5 $\text{m}^3 \text{dia}^{-1}$.

Na engorda é estipulado um consumo de 200 kg de ração durante os 85 dias de permanência.

A raspagem das baias é realizada todos os dias e descarga dia sim, dia não.

O sistema de tratamento do sítio 3 possui as mesmas dimensões e características do sítio 1 para o decantador e biodigestores.

Após tempo de retenção hidráulica (TRH) de 22 dias nos biodigestores, os resíduos são escoados, por gravidade, através de tubos de policloreto de vinila (PVC) de 200 mm, para três lagoas de estabilização que apresentam como base menor dimensões de 27 x 14 m e como base maior 39 x 20 m, com uma profundidade de 4 m e volume total aproximado de 2.232 m³.

As paredes laterais e os fundos do tanque de equalização, dos biodigestores e da lagoa de estabilização são revestidos com lona de impermeabilização de policloreto de vinila (PVC), que possui 0,8 mm (800 µm) de espessura.

Figura 3: Vista aérea dos galpões e sistema de tratamento do sítio 3.

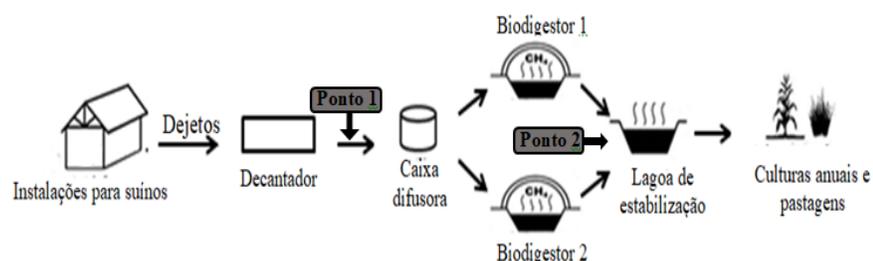


Biodigestores canadenses.
Fonte: Google Maps.

2.4 Coleta e análises dos dejetos

Considerando a configuração da planta de tratamento de resíduos da unidade de produção em questão, amostras foram coletadas durante os meses de dezembro de 2016 e janeiro de 2017. Foram coletados dois litros do afluente e efluente em cada sítio, durante 8 semanas, e as análises foram realizadas em triplicata (APHA, 2005), em cada ponto de amostragem, ou seja, no decantador e nas saídas dos biodigestores, segundo figura 4.

Figura 4: Esquema do sistema e os pontos de coleta do tratamento dos dejetos de suínos desde a produção até a destinação final.



Sempre às 9 horas do período estudado, amostras dos resíduos suinícolas foram coletadas uma vez por semana em cada ponto de amostragem, resultando num total de oito amostragens (repetições) em cada ponto de coleta. Após coletadas, as amostras de dejetos eram refrigeradas e transportadas ao laboratório.

As análises físico-químicas, para o acompanhamento do processo, foram realizadas no Laboratório de Análise de Água (LAADEG) e no Laboratório de águas residuárias do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras – MG.

Os parâmetros analisados foram pH, sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total (NTK)

e fósforo total (P), foram feitas em triplicata, seguindo as metodologias descritas em (APHA, 2005).

A estatística aplicada foi o teste Scott-Knott ao nível de 95% de confiança.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas análises realizadas, foi possível determinar alguns parâmetros representativos do processo de biodigestão anaeróbia. Também foi possível determinar a remoção percentual dos sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), sólidos fixos (SF) e da demanda química de oxigênio (DQO), fósforo (P) e nitrogênio total (Nt).

Verificou-se variação significativa do pH ao se comparar os valores obtidos na entrada e saída dos sítios 2 e 3. Já no sítio 1, não houve grandes variações (TABELA 1). Entretanto, dos valores obtidos, somente a entrada do sítio 2 está fora da faixa considerada adequada, que de acordo com Gao, Lin e Leung (2010) e Quadros et al. (2010), varia de 6,0 a 8,0.

Tabela 1: Valores médios dos parâmetros físico pH e DQO dos resíduos da suinocultura coletados na entrada e saída dos biodigestores.

	pH		DQO (mg L ⁻¹)	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída
Sítio 1	7,88 Ca	7,75 Ba	9135,72 Ab	2364,48 Aa
Sítio 2	5,53 Aa	7,51 Ab	9677,36 Ab	6646,74 Ba
Sítio 3	7,33 Ba	7,76 Bb	10117,34 Ab	7610,09 Ba

Médias seguidas de letras diferentes minúsculas na linha e letras maiúsculas na coluna, para o mesmo parâmetro, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

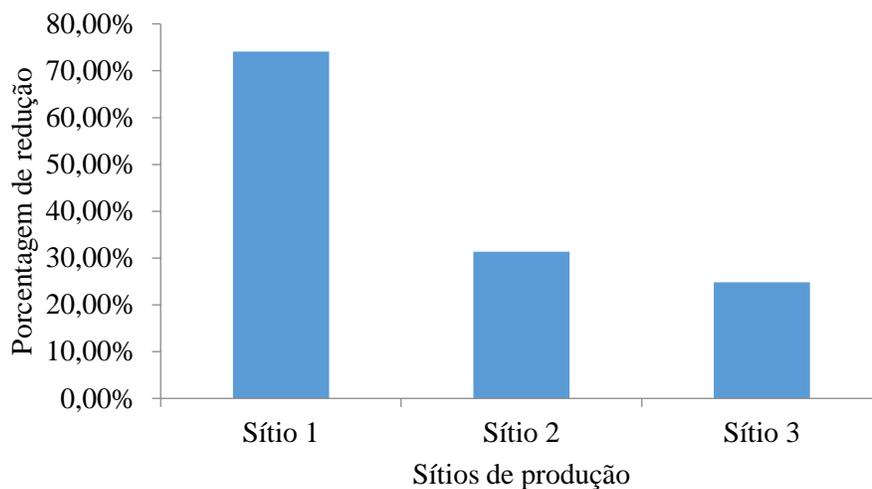
O valor de 5,53 obtido para pH no sítio 2 pode interferir na eficiência do sistema para remoção dos parâmetros físico-químicos, já que as bactérias não alcançam seu melhor rendimento nessa faixa de pH.

As concentrações médias de DQO não diferenciaram entre si na entrada dos 3 sítios. Na saída, porém, o sítio 1 apresentou maior redução do valor do DQO, enquanto os sítios 2 e 3 não se diferenciaram entre si.

Vivan et al. (2010), utilizando um biodigestor abastecido de forma intermitente, com lodo proveniente de estação de tratamento de dejetos de suínos, obteve valores de entrada e saída de 41.889 e 23.545 mg L⁻¹, respectivamente.

A figura 5 mostra a eficiência na remoção de DQO nos diferentes sítios.

Figura 5: Potencial de remoção de DQO nos três sítios de produção.



A eficiência para o sítio 1 na remoção de DQO foi de 74,12% enquanto que para os sítios 2 e 3 foram de 31,32 e 24,78%, respectivamente.

O pH na entrada do sítio 2, pode explicar sua eficiência menor em relação ao sítio 1, como foi explanado anteriormente.

Como o sítio 3 apresenta um volume maior de dejetos, possivelmente, o tempo de retenção hidráulica de 22 dias não é o suficiente para atingir uma eficiência de remoção de DQO maior.

Rodrigues et al. (2010), utilizando de um sistema composto de decantador e reator UASB como tratamento para dejetos líquidos de suínos de ciclo completo, alcançaram uma redução de 93% para DQO.

Wenzel et al. (2014), porém, encontraram valores semelhantes para DQO, utilizando como objeto de estudo granja de suínos com tratamento de dejetos um biodigestor canadense modificado, em que obteve os seguintes valores para entrada e saída respectivamente: 8.649 e 2351 mg L⁻¹. Os autores ainda chegaram a uma eficiência de 72,8 %.

O nitrogênio total na entrada do biodigestor, nos sítios 1 e 2, não diferiram, diferente do sítio 3, que obteve um valor bem mais elevado. Já na saída, os sítios 2 e 3 não se diferenciaram, enquanto no sítio 1 o valor foi menor, como pode ser observado na tabela 2.

Tabela 2: Valores médios dos parâmetros nitrogênio e fósforo dos resíduos da suinocultura coletados na entrada e saída dos biodigestores.

	NTK (mg L ⁻¹)		P (mg L ⁻¹)	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída
Sítio 1	773,32 Aa	574,0 Aa	23,20 Ab	8,31 Aa
Sítio 2	799,05 Aa	813,75 Ba	24,71 Ab	8,92 Aa
Sítio 3	1094,80 Ba	1005,55 Ba	21,58 Aa	17,48 Ba

Médias seguidas de letras diferentes minúsculas na linha e letras maiúsculas na coluna, para o mesmo parâmetro, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

Nos sítios 2 e 3 são utilizadas enzimas para aumentar a absorção de nutrientes no trato digestivo dos suínos, o que diminui a quantidade de nitrogênio excretado. Ainda assim, a concentração de NTK é maior nesses

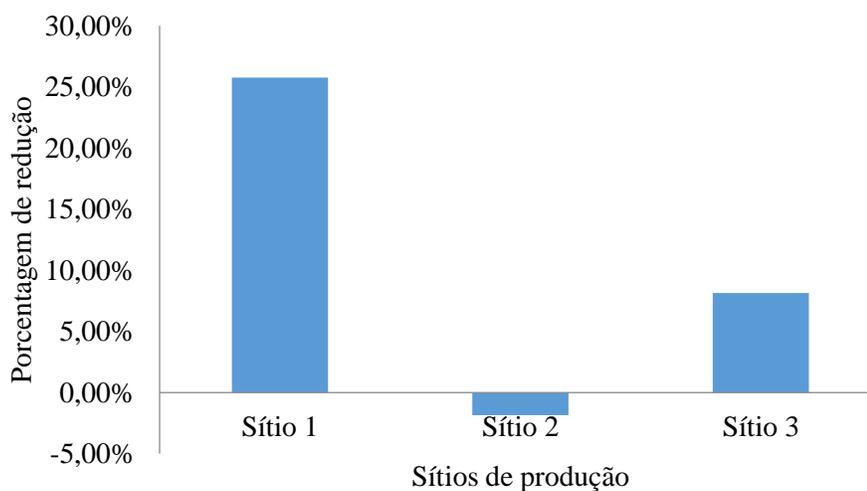
sítios que no sítio 1.

Wenzel et al. (2014) obtiveram valores de 1.676 e 1.406 mg L⁻¹ para entrada e saída de biodigestor respectivamente. Esses valores foram encontrados para uma granja de suínos de ciclo completo, sendo os dejetos de todas as fases tratados juntos.

Nenhum valor obtido no presente trabalho, atingiu os valores tão altos como os encontrados por Wenzel et al. (2014), podendo indicar que a granja estudada pelos autores não utiliza meios de aumentar a absorção dos nutrientes da ração.

Com relação à eficiência de remoção de nitrogênio para os sítios 1 e 3, observou-se valores de 25,77 e 8,15%, respectivamente. Já no sítio 2, houve um aumento na concentração, o que fez com que sua eficiência fosse negativa. As porcentagens das eficiências de todos os sítios se encontram na Figura 6.

Figura 6: Potencial de remoção de nitrogênio nos três sítios de produção.



Valores negativos indicam aumento da concentração.

Wenzel et al. (2014) obtiveram eficiência de 16,1%. Valor maior foi encontrado no sítio 1, indicando melhor eficiência. Deve-se lembrar, porém, que os autores observaram a eficiência dos dejetos tratados juntos.

Mais uma vez o sistema de tratamento do sítio 2 foi prejudicado, possivelmente pelo baixo pH apresentado na entrada do sistema.

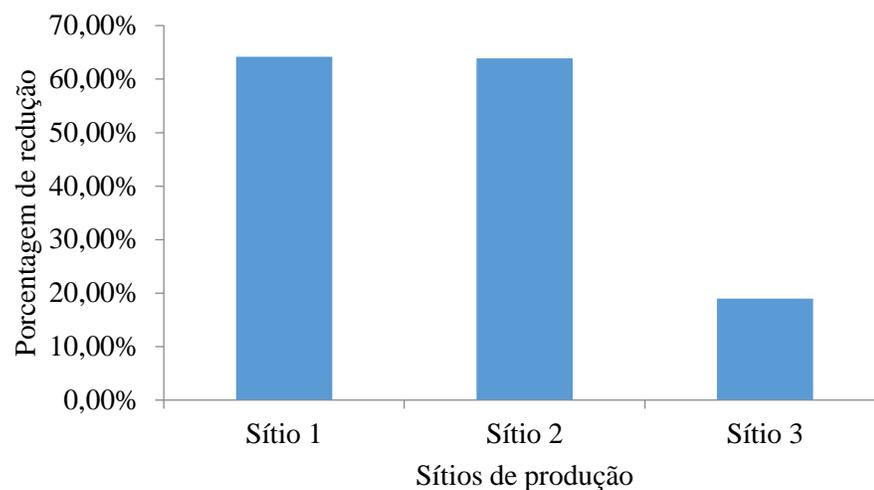
É importante ressaltar também que é necessário estudo das exigências do solo e da cultura que se vai aplicar o biofertilizante, pois se o nitrogênio for aplicado em doses superiores à capacidade de retenção do solo, esse pode se tornar poluente, prejudicando a qualidade do solo e da água (CAMPOS et al., 2013).

Porém, segundo Da Silva et al. (2012), a utilização do efluente de suíno no solo como biofertilizante, proporciona um tratamento terciário do efluente, pela capacidade depurante que o solo possui.

A análise do parâmetro fósforo total mostrou valores de entrada sem diferenças significativas entre si. Contudo, o efluente apresentou valores mais baixos e sem diferenças significativas nos sítios 1 e 2, e mais alto no sítio 3 (TABELA 2).

Essa diferença é notada quando se observa a eficiência do tratamento nos sítios, como mostra a figura 7. O sítio 3 apresentou apenas 19% de eficiência contra 64,18 e 63,90% no sítios 1 e 2, respectivamente.

Figura 7: Potencial de remoção de fósforo nos três sítios de produção.



Mais uma vez, a baixa eficiência de remoção do sítio 3 poderia ser explicada pela alta demanda de efluente a ser tratado para um tempo de detenção hidráulica baixo, não suficiente para uma maior eficiência.

Mesmo apresentando menor valor, a eficiência do sítio 3 em reduzir o fósforo se mostrou maior do que a encontrada por Wenzel et al. (2014). Os autores encontraram uma redução de 1,8%, com entradas e saídas de $54,5$ e $53,5 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente.

Sousa et al. (2014), estudando uma granja de suínos de ciclo completo com o tratamento baseado em uma lagoa anaeróbia e duas facultativas, obtiveram para o parâmetro fósforo, $84,8 \text{ mg L}^{-1}$ para entrada e $38,3 \text{ mg L}^{-1}$ na saída da última lagoa facultativa, obtendo uma redução de 54,7%.

Destaca-se que os valores encontrados para alguns parâmetros apresentaram elevada variabilidade em relação aos diferentes sítios, fator esse que foi comprovado por Vivan et al. (2010), que destacaram que a

composição dos dejetos de suínos varia em função do estágio de desenvolvimento dos animais, do tipo de nutrição empregada, etc.

Houve grande variação dos valores médios obtidos para a sequência de sólidos entre os sítios de produção, como mostra a tabela 3.

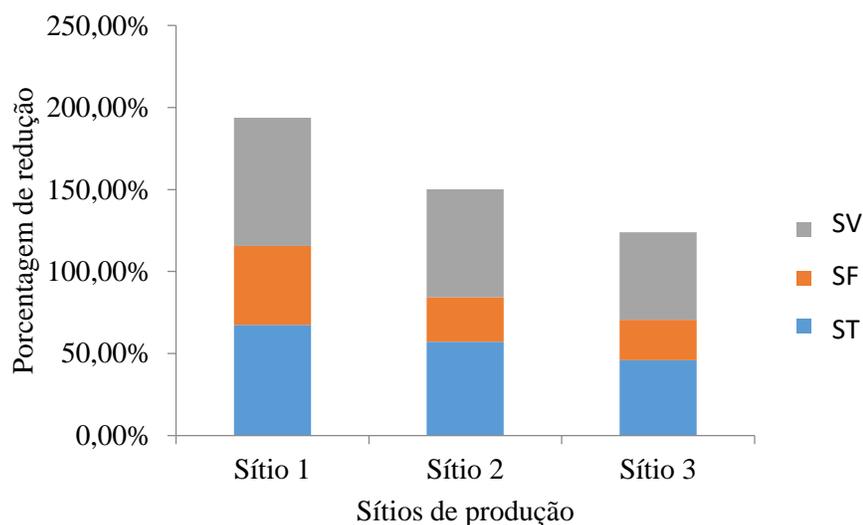
Tabela 3: Valores médios da série de sólidos (ST, SF e SV) dos resíduos da suinocultura coletados na entrada e saída dos biodigestores.

	ST (g L ⁻¹)		SF (g L ⁻¹)		SV (g L ⁻¹)	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
Sítio 1	11,16 Ab	3,62 Aa	3,47 Ab	1,80 Aa	7,68 Ab	1,68 Aa
Sítio 2	18,08 Aa	7,74 Aa	4,00 Aa	2,90 Aa	14,08 Bb	4,83 Aa
Sítio 3	17,45 Ab	9,41 Aa	4,44 Aa	3,35 Aa	13,00 Bb	6,06 Aa

Médias seguidas de letras diferentes minúsculas na linha e letras maiúsculas na coluna, para o mesmo parâmetro, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

As eficiências foram maiores para toda série de sólidos no sítio 1, que apresentaram 67,48%, 48,20% e 78,07% para remoção de sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV), apresentados na figura 8.

Figura 8: Potencial de remoção da série de sólidos (ST, SF e SV) nos três sítios de produção.



Os sítios 2 e 3 apresentaram reduções menores, principalmente quando se diz respeito aos sólidos fixos, onde foram encontrados valores de 27,20 e 24,49% para os sítios 2 e 3, respectivamente.

Já os valores de eficiência de 46,03 e 53,39% para sólidos totais e voláteis, respectivamente, para o sítio 3, foram próximos aos de Wenzel et al. (2014), que encontraram valores de 47,5 e 56,7% para ST e SV, respectivamente.

A maior redução para sólidos voláteis foi apresentada pelo sítio 1, o que faz com que esse seja o sistema de tratamento mais eficiente para a produção de biogás já que os sólidos voláteis correspondem à fração orgânica dos compostos, que são convertidos em biogás.

No geral, foi o sítio 3 que apresentou menores reduções nos parâmetros avaliados, indicando que o sistema pode estar subdimensionado, já que a fase de crescimento e terminação é a que apresenta o maior volume de dejetos gerados.

4 CONCLUSÕES

Os resíduos da suinocultura, avaliados nos diferentes sítios de produção, apresentam variabilidade em sua composição.

Os valores de pH demonstraram bom tamponamento do sistema de tratamento.

O sítio 1 apresentou maior eficiência na remoção dos parâmetros estudados, mostrando-se eficiente para a estabilização dos resíduos. Já os sítios 2 e 3 não mostraram boa eficiência principalmente na remoção de DQO, indicando um possível subdimensionamento do sistema.

REFERÊNCIAS

APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21th ed. Washington: APHA, 2005. 1.600 p.

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.

CARVALHO, B. V.; SOUSA, A. P. M; SOTO, R. F. M.. Avaliação de sistemas de gestão ambiental em granjas de suínos. **Ambiente e Água**, Taubaté, v. 10, n. 1, 2015.

CARVALHO, T.; NOLASCO, M. A. Créditos de carbono e geração de energia com uso de biodigestores no tratamento de dejetos suínos. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, Curitiba, v. 4, n. 3, 2017.

DA SILVA, W. T. L. et al. Avaliação físico-química de efluente gerado em biodigestor anaeróbio para fins de avaliação de eficiência e aplicação como fertilizante agrícola. **Quim. Nova**, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 35-40, 2012.

GAO, W. J. J.; LIN, H. J.; LEUNG, K. T. Influence of elevated pH shocks on the performance of a submerged anaerobic membrane bioreactor. **Process Biochemistry**, Oxford, v.45, n.8, p.1279-1287, aug. 2010.

IBEKWE, A. M. et al. Potential pathogens, antimicrobial patterns and genotypic diversity of *Escherichia coli* isolates in constructed wetlands treating swine wastewater. **FEMS microbiology ecology**, v. 92, n. 2, 2016.

QUADROS, D. G. et al. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos em reator contínuo de PVC flexível. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.3, p.326-332, mar. 2010

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, p.848-856, 2010.

SÁ JUNIOR, A. **Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais**. Dissertação de mestrado. UFLA: Lavras, 2009, 113 p.

SEDIYAMA, M. A. N. et al. Nutrição e produtividade de plantas de pimentão colorido, adubadas com biofertilizante de suíno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande v.18, p.588-594, 2014.

SILVA, F. P. et al. Parâmetros Físico-Químicos na Operação de Biodigestores para Suinocultura. **Revista Tecnológica**, Maringá, p. 33-41, 2015.

SILVA, W. T. L. et al. Avaliação físico-química de efluente gerado em biodigestor anaeróbio para fins de avaliação de eficiência e aplicação como fertilizante agrícola. **Química Nova**, São Paulo, v.35, n.1, p.35-40, 2012.

SOUSA, F. A. et al. Redução do potencial poluidor de dejetos de suínos em lagoas de estabilização em série. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 1, p. 65-73, jan./feb. 2014.

VIVAN, 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.

WENZEL, B. M. et al. Avaliação do desempenho de um Biodigestor canadense modificado no Tratamento de dejetos de suínos. **ENGEVISTA**, Niterói, v. 16, n. 4, p. 329-338, dez. 2014.

WU, D. et al. Performance of a zero valent iron-based anaerobic system in swine wastewater treatment. **Journal of hazardous materials**, Amsterdã, v. 286, p. 1-6, 2015.

YENIGÜN, O.; DEMIREL, B. Ammonia inhibition in anaerobic digestion: a review. **Process Biochemistry**, China, v. 48, n. 5, p. 901-911, 2013.