

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

RENAN WILLIAN LOUREIRO

**AVALIAÇÃO DA BIODEGRADABILIDADE ANAERÓBIA DE
EFLUENTE DE SUINOCULTURA A PARTIR DA ATIVIDADE
METANOGÊNICA ESPECÍFICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2015

RENAN WILLIAN LOUREIRO

**AVALIAÇÃO DA BIODEGRADABILIDADE ANAERÓBIA DE
EFLUENTE DE SUINOCULTURA A PARTIR DA ATIVIDADE
METANOGENICA ESPECÍFICA**

Trabalho apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 (TCC 2), do curso de Engenharia Ambiental, do Departamento Acadêmico de Ambiental (DAAMB), do Câmpus Campo Mourão, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Eudes José Arantes

Co-orientadora: Prof. Dra. Cristiane Kreutz

CAMPO MOURÃO

2015



TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DA BIODEGRADABILIDADE ANAERÓBIA DE EFLUENTE DE SUINOCULTURA A PARTIR DA ATIVIDADE METANOGÊNICA ESPECÍFICA
por

RENAN WILLIAN LOUREIRO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em **01 de Dezembro de 2015** como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Dr. Eudes José Arantes
Prof. Orientador

Dr^a. Cristiane Kreutz
Prof^a. Co-Orientadora

Dr^a. Flavia Vieira Da Silva Medeiros
Membro titular

Dr. Morgana Suszek Goncalves
Membro titular

“O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental”

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por ter me dado à oportunidade de viver, estando sempre ao meu lado e guiando os meus passos para chegar até este momento.

Aos meus pais, Inês Martins de Oliveira Loureiro e Valdir Aparecido Loureiro, por todo esforço, dedicação, confiança, carinho e um amor incondicional fornecido a mim, para que ultrapassasse todos os obstáculos encontrados até aqui.

Aos membros da minha família que estiveram sempre próximos transmitindo além de afeto, apoio e incentivando sempre que necessário.

Aos meus orientadores, Dr. Eudes José Arantes e Dra. Cristiane Kreutz, que foram muito importantes para a realização deste trabalho de todas as formas possíveis, seja transmitindo ensinamentos, como aconselhando, ajudando, apoiando e cobrando quando necessário.

Aos membros da banca examinadora Prof. Dra. Flavia Vieira Da Silva Medeiros e Prof. Dra. Morgana Suszek Goncalves, pela contribuição técnica dada a este trabalho.

A todos os educadores da coordenação de Engenharia Ambiental que compartilharam e deram todo o suporte técnico científico para a minha formação.

A todos os amigos que sempre apoiaram e torceram por mim, e aos novos amigos, mas não menos importantes, que fiz e levarei comigo depois destes anos de graduação.

Enfim, agradeço a todos que participaram de alguma forma desta parte da minha história, realizando o sonho de se formar.

Muito obrigado!

RESUMO

LOUREIRO, R. W. **Avaliação da Biodegradabilidade Anaeróbia de Efluente de Suinocultura a Partir da Atividade Metanogênica Específica**. 2015. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso foi avaliar a atividade metanogênica específica e a geração de biogás na biodegradabilidade anaeróbia de efluente suíno no sistema batelada. Para tanto houve a caracterização da água residuária e do lodo de suinocultura, o monitoramento do gás gerado no ensaio de biodegradabilidade anaeróbia e o cálculo da atividade metanogênica específica (AME). Para a caracterização da água residuária e do lodo foram realizadas análises físico-químicas para determinação dos parâmetros como: demanda química de oxigênio (DQO), alcalinidade, ácidos voláteis, sólidos totais e sólidos suspensos. A AME foi calculada a partir da relação de DQO consumida e a DQO inicial. A partida do ensaio da degradabilidade anaeróbia foi realizado em frascos com relação Alimento/Microrganismo (A/M) de 1:1, sendo incubados com temperatura controlada de 30° C. O monitoramento do volume de biogás gerado no ensaio de degradabilidade anaeróbia foi realizado por deslocamento de líquido e duraram 37 dias. Em seguida ao período de monitoramento da geração de biogás, o material passou por novas análises físico-químicas. Os resultados obtidos após o tratamento foram utilizados no cálculo da atividade metanogênica específica (AME). A AME foi expressa pela relação da DQO consumida pela DQO inicial do experimento. Considerando que AME ocorreu por 31 dias, a média da DQO consumida para geração de biogás no experimento foi de 3,6208 gDQO. A relação entre o valor médio da DQO consumida e da DQO inicial é o percentual de substrato convertido em biogás. O valor de substrato convertido em biogás foi de 92,93 % considerando a DQO filtrada, e de 63,43% para a DQO bruta. O ensaio de degradabilidade anaeróbia para determinação da atividade metanogênica específica gerou aproximadamente um total media de 9,7 L de biogás. Por fim a biodigestão se mostra uma boa alternativa para tratar a água residuária de suinocultura, além de ser uma valiosa fonte de energia com a geração de gases combustíveis.

Palavras-chaves: suinocultura, geração de biogás, atividade metanogênica específica.

ABSTRACT

LOUREIRO, R. W. **Evaluation of Anaerobic Biodegradation of Swine Wastewater from the Methanogenic Specific Activity** 2015. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

The objective of this course conclusion work was to evaluate the specific methanogenic activity and the generation of biogas in anaerobic biodegradability of swine wastewater in batch system. For this was the characterization of wastewater and swine sludge, monitoring the gas generated in anaerobic biodegradability and calculating the specific methanogenic activity (SMA). To characterize the wastewater and sludge were carried out physical and chemical analyzes to determine the parameters as chemical oxygen demand (COD), alkalinity, volatile acids, total solids and suspended solids. The AME was calculated from the ratio COD consumed and the initial COD. The start of the anaerobic degradability test was performed in jars with respect food / microorganism (F / M) of 1: 1, and incubated with controlled temperature of 30 ° C. The monitoring of the volume of biogas generated in the anaerobic degradability test was performed by liquid displacement and lasted 37 days. Following the monitoring period of biogas generation, the material has undergone further physical-chemical analysis. The results obtained after treatment were used to calculate the specific methanogenic activity (SMA). The SMA was expressed by the ratio of COD consumed by the initial COD of the experiment. Whereas AME occurred for 31 days, the average COD of gas consumed to generate of gas the experiment was 3,6208 gCOD. The relationship between the average COD consumed and the initial COD is the percentage of substrate converted into biogas. The substrate amount converted into biogas was 92.93% considering the filtered COD, and 63.43% for gross COD. The anaerobic biodegradability test for determining the specific methanogenic activity generated approximately an average total of biogas 9,7L. Finally the digestion showed a good alternative for treating swine wastewater as well as being a valuable source of energy for the generation of combustible gases.

Keywords: swine, generation of biogas, specific methanogenic activity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Incubadora e sistema utilizado para os ensaios da AME.	19
Figura 2 – Volume de biogás gerado ao longo do tempo de tratamento.	25
Figura 3 – Resultados máximos da atividade metanogênica.	26
Figura 4 – Consumo diário de DQO.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos e metodologia utilizada para o monitoramento do reator.....	17
Tabela 2 – Caracterização físico-química da água residuária.	21
Tabela 3 – Caracterização físico-química do lodo.	22
Tabela 4 – Resultados obtidos no tratamento de ARS no ensaio de degradabilidade anaeróbia.....	23

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS	10
2.1 OBJETIVO GERAL	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3 REVISÃO DE LITERATURA	11
3.1 SUINOCULTURA	11
3.2 DIGESTÃO ANAERÓBIA	12
3.3 BIOGÁS	13
3.4 REATOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE E MANTA DE LODO (UASB)	14
3.5 ATIVIDADE METANOGÊNICA ESPECÍFICA	15
4 MATERIAL E METODOS	17
4.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA	17
4.1.1 Ensaio da Atividade Metanogênica Específica (AME)	18
4.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	19
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA SUÍNA (ARS)	21
5.2 CARACTERIZAÇÃO DO LODO	22
5.3 PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO TESTE DA AME	23
5.4 ATIVIDADE METANOGÊNICA ESPECÍFICA	26
6 CONCLUSÃO	29
REFERÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o quarto maior produtor mundial de carne suína, cuja produção nacional, em 2013, foi da ordem de 3,3 milhões de toneladas (equivalente-carcaça), mais de 3 milhões de toneladas que o volume registrado há 50 anos (DE ZEN; ORTELAN; IGUMA; 2015).

É notória a importância da atividade suinícola na economia brasileira, com destaque no mercado internacional. Contudo, esta atividade tem causado grandes impactos ambientais, uma vez que os dejetos suínos, subproduto de sua atividade, em função de seu volume gerado e quando não tratado corretamente pode contaminar o solo, atmosfera e água, principalmente por apresentar elevadas concentrações de fósforo e nitrogênio e por ser uma importante fonte de emissão de gases de efeito estufa (AMORIM et al., 2012).

Segundo Alves (2007), estima-se que carga orgânica média poluidora de um suíno, em termos de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), é de 198,5 g/animal.dia. Comparando-se com o esgoto sanitário, em que a DBO per capita varia de 45 a 75 g.hab⁻¹.dia⁻¹ (média de 60 g.hab⁻¹.dia⁻¹), portanto pode-se afirmar, que a poluição orgânica promovida por um suíno é 3,3 vezes maior que a produzida por um homem.

As possíveis soluções para os dejetos lançados no ambiente podem abrigar diferentes processos biológicos, cujo objetivo é a biodegradação de compostos poluentes em compostos mais simples, em outras palavras, a mineralização completa de moléculas orgânicas (VAZOLLER, 2005).

Para Alves et al. (2008), a digestão anaeróbia apresenta-se com grande potencial de aplicação, haja vista que o dejetos suíno possui elevada concentração de matéria orgânica, favorecendo a ação de bactérias metanogênicas. Desta forma, a produção e utilização do biogás na propriedade rural, justificam a ampliação de estudos acerca de potencial produtivo e energético desta fonte alternativa de energia, utilizando esses efluentes como substrato.

Os dejetos de origem suína têm melhor rendimento para geração do biogás, cerca de 560 m³ de biogás (a partir de material seco em m³.t⁻¹), com percentual de gás metano de 50%, demonstrando que a produção de biogás a partir de dejetos

suínos é maior em relação a outros animais como bovinos, equinos e aves. (COLATTO; LANGER, 2012).

O uso do biogás como fonte térmica e energética ocorreu nos anos 40, depois da crise energética provocada pela II Guerra Mundial (COSTA, 2006). Logo após a 2ª Guerra Mundial, devido à escassez de energia fóssil, o biogás foi utilizado com certa intensidade em países como a França, Argélia e a Alemanha, tanto para aquecimento como para alimentação de motores de combustão interna (CENTRO PARA A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA, 2000).

O ensaio de atividade metanogênica específica (AME) constitui-se numa importante avaliação para o monitoramento do processo anaeróbio, além de servir como um parâmetro de controle de estabilidade de reatores. O teste também pode ser utilizado para quantificar e qualificar o potencial da biomassa na conversão de substratos solúveis em metano e gás carbônico (CHERNICHARO, 2007).

Aquino et al. (2007) definem a atividade metanogênica específica como a capacidade máxima de produção de metano por um consórcio de micro-organismos anaeróbios, realizada em condições controladas de laboratório, para viabilizar a atividade bioquímica máxima de conversão de substratos orgânicos a biogás.

Portanto, a quantificação da geração do biogás e o seu correto manejo só tendem a trazer vantagens, sejam elas ambientais, energéticas ou econômicas. Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo determinar a degradabilidade da água residuárias de suinocultura pela quantificação da produção de gás gerada e pela determinação do consumo da matéria orgânica por meio do ensaio da atividade metanogênica específica.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a biodegradabilidade anaeróbia de efluente de suinocultura por meio da atividade metanogênica específica (AME).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Visando alcançar o objetivo geral foram propostos os seguintes objetivos específicos.

- Caracterizar a água residuária com a determinação da Demanda Química de Oxigênio, DQO para ARS bruta e filtrada, sólidos totais, fixos e voláteis, sólidos suspensos totais, fixos e voláteis.
- Caracterizar o lodo com a determinação da Demanda Química de Oxigênio, DQO para ARS bruta e filtrada, sólidos totais, fixos e voláteis, sólidos suspensos totais, fixos e voláteis.
- Determinar a produção de gás gerado pela AME;
- Calcular a atividade metanogênica específica para determinação da carga orgânica consumida.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 SUINOCULTURA

A atividade da criação de suínos é desenvolvida há muitos anos; o animal servia de alimento para as famílias do campo e suas fezes como adubo orgânico. Ao longo dos anos aquela realidade foi mudada e, outras atividades relacionadas à suinocultura começaram a fazer parte daqueles que viviam no campo, uma delas é a energia produzida pelo biogás, obtidos através dos dejetos do animal.

A suinocultura é uma das atividades mais importantes do complexo agropecuário brasileiro e é predominantemente desenvolvida em pequenas propriedades rurais e em áreas com limitações topográficas para o estabelecimento de lavouras extensivas (DUDA; OLIVEIRA, 2011). Segundo o IBGE (2014), no primeiro semestre de 2014, foram abatidas 8,687 milhões de cabeças de suínos no Brasil. Do abate nacional, a região Sul respondeu por 65,1%, seguida pelas regiões Sudeste (18,8 %), Centro-Oeste (14,8%), Nordeste (1,2%) e Norte (0,1%).

A produção de suínos, por meio de sistemas confinados tem levado ao aumento considerável no uso de água nestas instalações e assim a uma produção elevada de efluentes. Devido ao elevado potencial poluidor e problemas de saúde pública relacionada, sistemas anaeróbios de tratamento vêm recebendo atenção na produção em grande escala, pois além de reduzir a poluição ambiental, recupera o poder energético do resíduo na forma de fertilizante e biogás (SILVA, 2014).

Segundo o Serviço Nacional de Atividade Rural (2015) os criadores de suínos, podem ter mais rentabilidade e sustentabilidade ao trabalharem com os dejetos destes animais, por meio da geração de energia oriunda do biogás produzido nas propriedades.

Ferreira et al. (2011), realizaram um estudo, em que descrevem que a água residuária suína (ARS) é formada principalmente por dejetos compostos de fezes e urina, restos de ração, pêlos e outros fatores provenientes da suinocultura, os quais formam um efluente muito rico em matéria orgânica e nutrientes.

Mas, de acordo com Matos *et al.* (1997), a suinocultura é uma atividade concentradora de dejetos com alta carga poluidora para o solo, ar e água. Por isso,

muitos estudos têm sido desenvolvidos para viabilizar a utilização desses dejetos, minimizando seu impacto no ambiente.

Vale ressaltar que:

“Os dejetos suínos são constituídos por fezes, urina, água desperdiçada pelos bebedouros e de higienização, resíduos de ração, pêlos, poeiras e outros materiais decorrentes do processo criatório. O esterco por sua vez é constituído pelas fezes dos animais, que contém matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, manganês, ferro, zinco, cobre e outros elementos incluídos nas dietas dos animais” (DIESEL et al., 2002).

3.2 DIGESTÃO ANAERÓBIA

A digestão da matéria orgânica por meios anaeróbios é um processo natural e autorregulado que ocorre por meio de uma diversa gama de micro-organismos que cooperam no processo de decomposição da matéria orgânica, formando como produto gás carbônico e metano (MOSEY, 1983).

O processo de fermentação anaeróbia da matéria orgânica é constituído basicamente por três etapas, sendo elas a hidrólise, a acidogênese/acetogênese e por fim a metanogênese (FORESTI et al., 1999).

A hidrólise constitui na conversão de compostos orgânicos complexos, como as proteínas e gorduras, em compostos orgânicos mais simples como açúcares, aminoácidos e ácidos graxos. Na acidogênese/acetogênese ocorre a transformação dos produtos gerados na etapa anterior, por meio de bactérias acetogênicas, em compostos ainda mais simples, como os piruvatos e propinatos, nesta etapa é liberado gás carbônico e hidrogênio. Por fim ocorre a metanogênese, em que as bactérias metanogênicas convertem os ácidos orgânicos e o hidrogênio em metano e dióxido de carbono. Esta conversão ocorre por meio de um grupo especial de micro-organismos, os quais são estritamente procariontes (WOESE et al., 1977).

Durante o processo fermentativo, Van Haandel e Marais (1999) explicam que o potencial redutor da matéria orgânica é transferido para o metano, constatando que a DQO removida no sistema ocorre devido à transformação para gás metano.

A digestão anaeróbia faz parte de um processo do tratamento de dejetos, não devendo ser vista como uma solução definitiva, pois ela possui limitações quanto à eficiência da remoção da matéria orgânica dos nutrientes. A possibilidade de utilização do biogás, um subproduto do tratamento, para geração de energia térmica elétrica agrega valor ao dejetos diminuindo seus custos com o tratamento anaeróbio.

O tratamento anaeróbio tolera cargas orgânicas elevadas, gera menos lodo, consome pouca energia e demanda baixos custos de operação (ABREU, 2003), (Oliveira, et al., 2006).

O bioprocesso anaeróbico é tradicionalmente utilizado para o tratamento de resíduos agroindustriais e municipais com a finalidade de adequá-los a exigências ambientais. No entanto vem crescendo o interesse da utilização do bioprocesso anaeróbio para a produção de biocombustíveis (Rosa; Henrard; Moraes 2009).

3.3 BIOGÁS

O biogás é uma mistura gasosa e combustível, que resulta da degradação da matéria orgânica em meio anaeróbio pela ação de bactérias presentes no afluente. Os seus principais componentes são o gás metano (CH_4) e o gás carbônico (CO_2) (MAGO, 2009).

A primeira experiência conhecida com a utilização do biogás, produzido por digestão anaeróbia, foi em 1859, numa colônia de leprosos em Bombaim na Índia (CENTRO PARA A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA, 2000).

O biogás pode ser usado como fonte de energia direta, como combustível ou como complemento para outro combustível (como o gás natural e o GLP) em secadores, caldeiras e motores para a geração de energia elétrica e mecânica e em muitos outros processos (CASSINI, 2003; CHERNICHARO, 1997).

Barbosa e Langer (2011) dizem que a utilização do gás em forma de energia é uma ótima forma de redução dos gastos, sendo feito através da tecnologia aplicada aos biodigestores para produção de energia a partir de dejetos juntamente com os benefícios que o tratamento e uso desses resíduos podem trazer à agricultura e ao meio ambiente, isso contribui com a produção de biogás e biofertilizantes.

Por isso, utilizando as técnicas de outros países, o Brasil resolve cada vez mais investir na produção de biogás através do tratamento destes dejetos e assim poder utilizá-los em diversas outras áreas.

3.4 REATOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE E MANTA DE LODO (UASB)

Um dos bioprocessos que vem ganhando grande aceitação é o Reator Anaeróbico de Manta de Lodo (UASB), que além de possuir simplicidade construtiva e baixo custo operacional é capaz de suportar altas cargas orgânicas e produzir como subproduto o biogás, composto rico em metano (CH_4) (CAMPOS, 1990).

O desenvolvimento dos biorreatores do tipo anaeróbios de fluxo ascendente ou *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) ocorreu por volta do início dos anos 70, na Universidade de Agricultura de Wageningen na Holanda, quando se construiu e operou o primeiro reator em escala de laboratório (ARRIETA; CANTERA, 1999).

Dentre os reatores anaeróbios, o do tipo UASB tem apresentado ser eficaz no tratamento de águas residuárias. Eles apresentam um grande avanço na tecnologia de tratamento anaeróbico, e como qualquer reator biológico tem suas vantagens e desvantagens (KATO et al., 1999).

Segundo Chernicharo et al. (1999) as principais vantagens desse sistema são:

- Baixa produção de lodo
- Baixo consumo energético
- Baixo custo de implantação
- Área ocupada é pequena quando em comparação com outros sistemas
- Boa remoção de DBO e DQO (entre 60-75%)
- Lodo já sai estabilizado
- Possibilidade de paradas e reinício rápido.

Os reatores do tipo UASB removem os poluentes do efluente através de micro-organismos que formam grânulos com cerca de 1-5 mm, que são mantidos em suspensão no sistema devido ao fluxo ascendente do efluente. Os grânulos formados formam uma espécie de manto, a zona com maior concentração é

chamada de zona de manta de lodo, em que o efluente atravessa e os micro-organismos digerem a matéria orgânica (CHERNICHARO et al., 1999).

Campos (2005), em sua pesquisa mostrou que o reator UASB apresenta boa eficiência na remoção de DQO_T (78%) e DBO_5 (75%), o que caracterizou uma elevada produção de biogás. Demonstrou ainda que existe uma enorme viabilidade técnica em se obter energia por meio do tratamento de dejetos de suínos, especialmente em comunidades rurais. Segundo Konzen (1983) o potencial energético é de $0,50 \text{ m}^3 \cdot \text{biogás} \cdot \text{m}^{-3}$ de dejetos.

3.5 ATIVIDADE METANOGÊNICA ESPECÍFICA

A atividade metanogênica específica (AME) pode ser definida como a capacidade máxima de produção de metano que os micro-organismos anaeróbios realizam. Sobre condições controladas de laboratório, a atividade bioquímica de conversão de substratos orgânicos a biogás é elevada. Saber qual é a capacidade do lodo anaeróbio em produzir metano é importante, pois a remoção dos compostos causadores da demanda química de oxigênio (DQO) só ocorrerá de fato com a formação do metano, que por ser praticamente insolúvel em água, escapa facilmente da fase líquida (AQUINO et al., 2007).

Ainda de acordo com o mesmo autor, o conhecimento da AME do lodo de determinado reator ajuda a estabelecer a capacidade máxima de remoção de DQO da fase líquida, e com isso consegue-se estimar a máxima carga orgânica que pode ser aplicada sem que ocorram riscos de desbalanceamento do processo anaeróbio.

Conforme define Foresti et al. (1999), a AME é uma importante ferramenta para o controle de reatores anaeróbios, pois, ela pode ser utilizada como parâmetro de controle da eficácia da população metanogênica presente em um reator biológico.

De acordo com Chernicharo (1997), a atividade metanogênica específica pode ser usada para avaliação da produtividade do biogás pelas bactérias. Assim, a partir de frações conhecidas de biomassa (gSVT) e de substrato (gDQO), e sob condições pré-estabelecidas, pode-se monitorar a produção de metano ao longo do tempo.

Segundo Monteggia (1991) a atividade metanogênica específica pode ser calculada através do consumo de um substrato por unidade de biomassa (SSV) e unidade de tempo, ou ainda, por meio da medição direta da taxa de produção de metano.

4 MATERIAL E METODOS

A metodologia utilizada para a quantificação da produção de biogás gerado será baseada em Aquino, et al. (2007).

4.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O trabalho foi realizado no Laboratório de Saneamento (LabSan C-105) do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, no Câmpus Campo Mourão, Paraná.

O material foi coletado em uma granja de suinocultura situada no município de Mamborê no estado do Paraná. A água residuária foi coletada na saída da granja no sistema de limpeza, e o lodo que era proveniente do fundo do biodigestor foi coletado de uma lagoa de acumulação.

Foram realizadas análises físico-químicas do lodo e a água residuária de suinocultura (ARS) para determinação da concentração de partida do ensaio da degradabilidade no teste de AME. As análises realizadas para determinação dos parâmetros físico-químicos e seus respectivos métodos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos e metodologia utilizada para o monitoramento do reator.

Parâmetros	Método de Análise	Referência
Ácidos voláteis (mgHAc.L ⁻¹)	Titulométrico	Dillalo e Albertson (1961)
Alcalinidade (mgCaCO ₃ .L ⁻¹)	Titulométrico	Ripley et al. (1986)
Demanda Química de Oxigênio (mg.L ⁻¹)	Espectrofotométrico	EATON et al. (2005)
Sólidos suspensos (mg.L ⁻¹)	Gravimétrico	EATON et al. (2005)
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)	Gravimétrico	EATON et al. (2005)
Temperatura (°C)	Termômetro	-

Fonte: Adaptado de Kreutz, 2012.

4.1.1 Ensaio da Atividade Metanogênica Específica (AME)

O sistema para determinação da Atividade Metanogênica Específica foi montado em incubadora com temperatura média controlada de 30 °C no LabSan da UTFPR. Os ensaios foram realizados em duplicada seguindo metodologia adaptada de Aquino et al. (2007), em que foram utilizados dois frascos de vidro com volume total de um litro (1L), todos os frascos continham a mesma quantidade e o mesmo material inoculado.

Os Frascos de Incubação foram adaptados com rolhas em sua saída contendo mangueiras acopladas para a captação do gás. As mangueiras conduziam o gás para um segundo recipiente chamado Frasco de Mariotte. A pressão gerada pelo gás é transferida ao frasco de Mariotte, que com o confinamento transfere o líquido contido neste frasco para um terceiro recipiente de coleta. Este volume deslocado era medido com o auxílio de uma proveta conforme o sistema é mostrado na Figura 1.

Para a partida do sistema anaeróbio para determinação da AME os Frascos de Incubação com capacidade total de um litro, foram inoculados até o volume útil de 0,5 L e levados para incubadora como é apresentado na Figura 1.

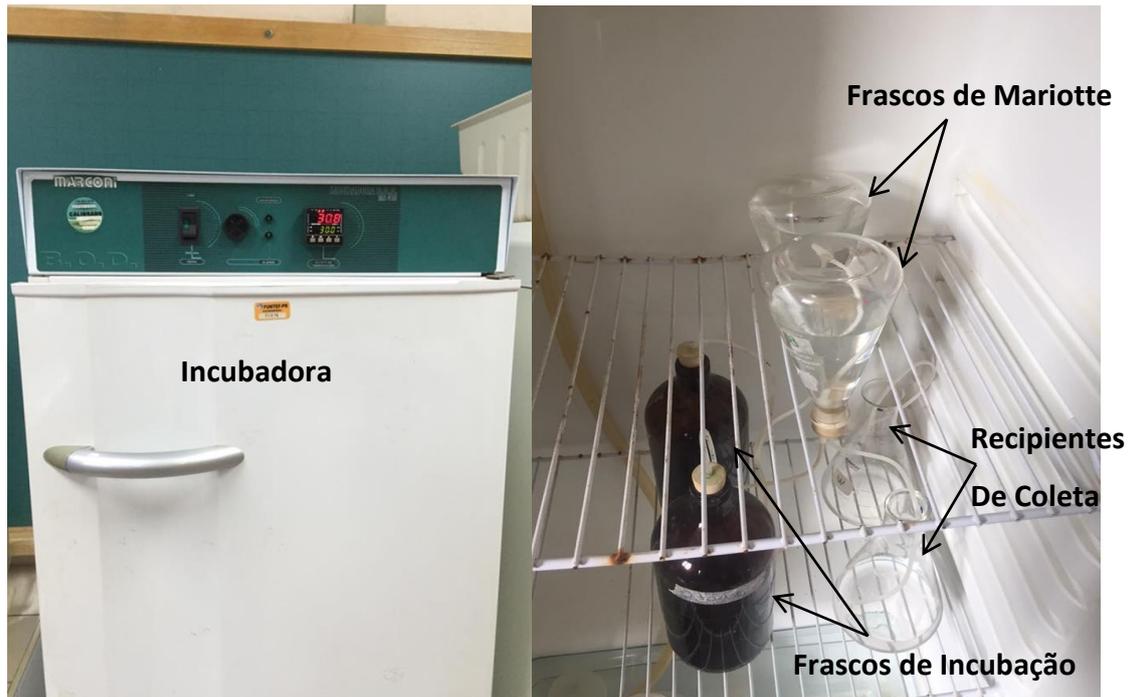


Figura 1 – Incubadora e sistema utilizado para os ensaios da AME.
Fonte: Autoria própria

Para o teste em duplicata da AME, a proporção Alimento/Micro-organismo (A/M) foi de 1:1, cuja relação foi obtida com a inoculação de 0,15 litros de lodo e 0,35 litros de água residuária, resultando no volume total de 0,5 litros para o ensaio da biodegradabilidade anaeróbia.

4.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Primeiramente foi coletado o lodo e água residuária utilizados no estudo, esse material passou por análises físico-químicas para serem caracterizados conforme parâmetros apresentados na Tabela 1.

Após a caracterização foi calculada a relação Alimento/Microrganismo (A/M) do sistema. Foi utilizada a relação A/M 1:1. Esta relação foi obtida entre a carga de sólidos e a carga da DQO, depois do cálculo da relação A/M o material foi inoculado para a partida no sistema.

A partida do ensaio de degradabilidade da AME aconteceu no dia primeiro de setembro de 2015, os dois fracos de repetição foram inoculados e colocados na incubadora com temperatura controlada de 30 °C (Figura 1).

A produção do biogás foi monitorada em 22 coletas, realizadas diariamente de segunda a sexta-feira com exceção dos finais de semana. Os valores obtidos foram extrapolados para determinação do volume acumulado do biogás. O ensaio foi realizado durante 37 dias até a estabilização e a recessão da produção do biogás.

Posterior ao monitoramento da AME, o material da mistura foi retirado da incubadora para realização de análises físico-químicas como: DQO bruta e filtrada, dos sólidos totais (ST), sólidos totais fixos (STF), sólidos totais voláteis (STV), sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos fixos (SSF) e sólidos suspensos voláteis (SSV).

Após o monitoramento da geração de biogás e das análises em laboratório, os resultados obtidos foram utilizados no cálculo para quantificar a atividade metanogênica específica (AME). Considerou-se que a AME foi estabilizada em 31 dias e esta foi determinada pela relação entre a DQO consumida e a DQO inicial do experimento, seguindo metodologia de Chernicharo (1997).

O cálculo da AME foi determinado pela determinação da inclinação do trecho reto da curva de produção de gás (trecho de inclinação máxima) em relação ao tempo em $L.d^{-1}$. A inclinação da curva fornece a taxa de produção de metano.

Os valores máximos da AME foram obtidos dividindo-se o volume de gás gerado pelos sólidos totais voláteis e pelo $K(t)$, sendo $K(t)$ o fator de correção para a temperatura operacional do reator ($gDQO.L^{-1}$).

$$Vol_{Gás} = \frac{DQO_{Consumida}}{K(t)} \quad (1)$$

O $K(t)$ é expresso por:

$$K(t) = \frac{P.K}{R.(273+T)} \quad (2)$$

onde; P é a pressão atmosférica local de 0,934 atm, K corresponde a um mol de CH_4 ($64 gDQO.mol^{-1}$), R é a constante dos gases ($0,08206 atm.L.mol^{-1}.K^{-1}$) e T é a temperatura operacional do reator. O $K(t)$ encontrado foi de $2,419 gDQO.L^{-1}$.

A média da DQO consumida foi encontrada multiplicando-se o valor máximo da AME pela massa média de STV presente no material, depois de obtido o valor da DQO consumida, fez-se a relação com a DQO inicial obtendo-se o percentual de substrato convertido em metano.

Os cálculos foram realizados no software Microsoft Excel® 2010 e apresentados em forma de tabelas e gráficos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os dados e análises do trabalho realizado para quantificação da produção de biogás em ensaio de degradabilidade anaeróbia. Os resultados permitiram a quantificação dos parâmetros necessários na determinação da atividade metanogênica específica (AME).

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA SUÍNA (ARS)

Na Tabela 2 estão apresentados os dados obtidos na caracterização físico-química da ARS anterior ao início dos ensaios.

Tabela 2 – Caracterização físico-química da água residuária.

PARÂMETROS	ÁGUA RESIDUÁRIA				
	N	X	DP	Mín.	Máx.
Alc. bicarbonato (mgCaCO ₃ .L ⁻¹)	3	696,50	62,74	648,50	767,50
Ácidos voláteis (mgHAc.L ⁻¹)	3	413,20	36,80	372,0	442,80
DQO bruta (mg.L ⁻¹)	3	8123,8	310,5	7898,3	8478,0
DQO filtrada (mg.L ⁻¹)	3	7850,0	206,3	7632,7	8043,3
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)	3	14666,6	1,15	14000	16000
Sólidos totais fixos (mg.L ⁻¹)	3	6480	0,26	6320	6780
Sólidos totais voláteis (mg.L ⁻¹)	3	8186,66	0,89	7660	9220
Sólidos suspensos totais (mg.L ⁻¹)	3	6983,33	2,28	5050	9500
Sólidos suspensos fixos (mg.L ⁻¹)	3	3500	1,86	1550	5250
Sólidos suspensos voláteis (mg.L ⁻¹)	3	3483,3	1,87	1350	4850

Legenda: Número de amostras (N); Média (X); Desvio padrão (DP); Valor mínimo (Mín.); Valor máximo (Max.).

Fonte: Autoria Própria

A tabela 2 mostra que a alcalinidade a bicarbonato da água residuária teve valor máximo de 767,50 mgCaCO₃.L⁻¹ e valor mínimo de 648,50 mgCaCO₃.L⁻¹ com a sua média ficando em 696,50 mgCaCO₃.L⁻¹. Já a média dos ácidos voláteis foi de

aproximadamente 413,20 mgHAc.L⁻¹ obtendo valor mínimo de 372 mgHAc.L⁻¹ e valor máximo de 442,80 mgHAc.L⁻¹.

No trabalho de Moraes e Paula Junior (2000), eles encontraram resultados de alcalinidade e ácidos voláteis próximos dos obtidos nesse trabalho em torno de 441 mgCaCO₃.L⁻¹ para a alcalinidade e de 175 mgHAc.L⁻¹ para os ácidos voláteis.

Os sólidos totais da água residuária analisada neste trabalho apresentaram um valor médio de 14666,6 mg.L⁻¹, enquanto os STV tiveram 8186,66 mg.L⁻¹ e seus desvios padrão foram respectivamente 1,15 mg.L⁻¹ e 0,89 mg.L⁻¹.

No caso dos dejetos suínos cerca de 70 a 75% do ST, que indicam o grau de diluição do dejetos, são representados pelos STV, que são os substratos para as bactérias metanogênicas (OLIVEIRA & HIGARASHI, 2006).

Diesel et al, (2002) em seu trabalho analisou os dejetos suínos de um sistema de tratamento da Embrapa em Concórdia – SC em que a concentração de ST tinha valores mínimos de 12.697 mg.L⁻¹ e máximos de 49.432 mg.L⁻¹, e para os STV a mínima foi de 8.429 mg.L⁻¹ e máxima de 39.024 mg.L⁻¹. Comparando o seu valor médio de ST com o valor médio deste experimento não houve muita divergência, assim como o valor de STV também não variou muito.

De acordo com Matos (2005) o teor de sólidos totais voláteis varia próximo de 80% em relação ao teor dos sólidos totais, já para este trabalho o teor de STV em relação ao ST encontrado foi de 55,7%.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO LODO

Os resultados da caracterização física do lodo, utilizado como inóculo no teste da AME, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização físico-química do lodo.

PARÂMETROS	LODO				
	N	X	DP	Mín.	Máx.
Sólidos totais (g.L ⁻¹)	3	43,00	9,85	32,00	51,00
Sólidos totais fixos (g.L ⁻¹)	3	11,39	2,50	8,52	13,06
Sólidos totais voláteis (g.L ⁻¹)	3	31,61	7,39	23,48	37,94
Sólidos suspensos totais (g.L ⁻¹)	3	24,15	8,04	17,85	33,20
Sólidos suspensos fixos (g.L ⁻¹)	3	5,15	4,34	1,65	10,00
Sólidos suspensos voláteis (g.L ⁻¹)	3	19,00	4,62	14,05	23,20

Legenda: Número de amostras (N); Média (X); Desvio padrão (DP); Valor mínimo (Mín.); Valor máximo (Max.).

Fonte: Autoria Própria

A média dos sólidos totais foi de 43 g.L⁻¹, com valor mínimo de 32 g.L⁻¹ e máximo de 51 g.L⁻¹. Já para os sólidos totais fixos e voláteis a média ficou em 11,39 g.L⁻¹ e 31,61 g.L⁻¹, respectivamente.

Os sólidos suspensos totais do lodo estudado apresentaram valores médios de 24,15 g.L⁻¹ com concentrações mínima de 17,85 g.L⁻¹ e máxima de 33,20 g.L⁻¹. Enquanto os sólidos suspensos fixos tiveram uma média de 5,15 g.L⁻¹ com desvio padrão de 4,34 g.L⁻¹. E nos sólidos suspensos voláteis foi constatado uma média de 19 g.L⁻¹ com valor mínimo em 14,05 g.L⁻¹ e máximo em 23,20 g.L⁻¹.

Zeeman (1991), apresenta em seu trabalho que o valor médio de ST do lodo proveniente de suinocultura é de 75 g.L⁻¹ e o valor de SV de 50 g.L⁻¹.

No trabalho de Pereira (2004), o autor encontrou valor médio de ST para o lodo que tratava dejetos suínos de 49 g.L⁻¹ e de SV em 38 g.L⁻¹, o que demonstra não haver muita divergência aos valores médios encontrados neste trabalho.

5.3 PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO TESTE DA AME

Na Tabela 4 estão expostos os resultados obtidos no tratamento da ARS por meio da biodegradação anaeróbia, por meio da AME.

Tabela 4 – Resultados obtidos no tratamento de ARS no ensaio de degradabilidade anaeróbia.

PARÂMETROS	Inicial		Final	
	N	X	N	X
DQO filtrada (g.L ⁻¹)	3	7,80	6	4,08
DQO bruta (g.L ⁻¹)	3	11,43	6	8,98
Remoção de DQO filtrada (%)	-	-	-	42,40
Remoção de DQO bruta (%)	-	-	-	21,43
ST (g.L ⁻¹)	3	23,16	6	23,04
STF (g.L ⁻¹)	3	7,95	6	10,00
STV (g.L ⁻¹)	3	15,21	6	13,04
Remoção de STV (%)	-	-	-	14,27
SST (g.L ⁻¹)	3	12,13	6	17,00
SSF (g.L ⁻¹)	3	3,99	6	5,85
SSV (g.L ⁻¹)	3	8,13	6	11,15

Legenda: Número de amostras (N); Média (X).

Fonte: Autoria Própria

Os valores da DQO da ARS bruta inicial foi de 11,43 g.L⁻¹ e da DQO da ARS filtrada inicial foi de 7,80. Após o tratamento verificou-se a redução de 42,4% na DQO da ARS filtrada e de 21,43 % para a ARS bruta. Para os Sólidos Totais Voláteis que iniciou o processo com 15,21 g.L⁻¹ houve uma remoção de 14,27% após o tratamento. Os resultados dos sólidos totais e dos sólidos suspensos totais indicam o aumento da biomassa com produção de lodo em que também retém a matéria orgânica da ARS.

Araujo *et al* (2012) realizou o tratamento de ARS em reator UASB com volume útil de 15 m³ e TRH de 2 dias e concluiu que o sistema apresentou eficiências de remoção satisfatórias obtendo valores de 97% para DBO, 95% para DQO, 88% para N-NH₃ e 74% para PT/ P-PO₄ , mesmo com as variações de vazão e de carga orgânica aplicadas.

Echeverria *et al.* (2010) constatou em seu estudo sobre a análise das águas residuárias que os teores médios de ST encontrados foram de 2,36% (34,43 kg) para o afluente, conseqüentemente o uso do biodigestor possibilitou uma redução de 65,81%. Os teores médios de SV observados foram de 2,02% (29,55 kg) e de 0,52% (7,79 kg) para água residuária de suinocultura antes e pós-tratamento por biodigestão anaeróbia, portanto, o processo foi satisfatório, pois permitiu uma redução de 73,97%, o que significa alto potencial de transformação da matéria orgânica em ácidos orgânicos e voláteis.

Já no trabalho de Orrico Junior (2009) foi observado reduções de 66,26% e 70,34% para sólidos totais e voláteis, respectivamente, no processo de biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos, com THR de 36 dias, ao passo que Feiden *et al* (2004), trabalhando com água residuária de suinocultura tratada em biodigestor tubular contínuo, encontrou reduções de 52,11% para ST e de 58,77% para SV. Portanto, o processo de biodigestão anaeróbia também ocorreu de forma satisfatória, reduzindo o teor de sólidos da água residuária o que pode favorecer maiores possibilidades do uso posterior.

A baixa eficiência encontrada neste trabalho pode ser explicada pela alta concentração de lodo utilizada no substrato do ensaio de biodegradabilidade, resultando em um acréscimo de sólidos no sistema pelo crescimento dos micro-organismos.

Na figura 2 a seguir é demonstrada a geração do biogás neste processo, de acordo com as horas de produção.

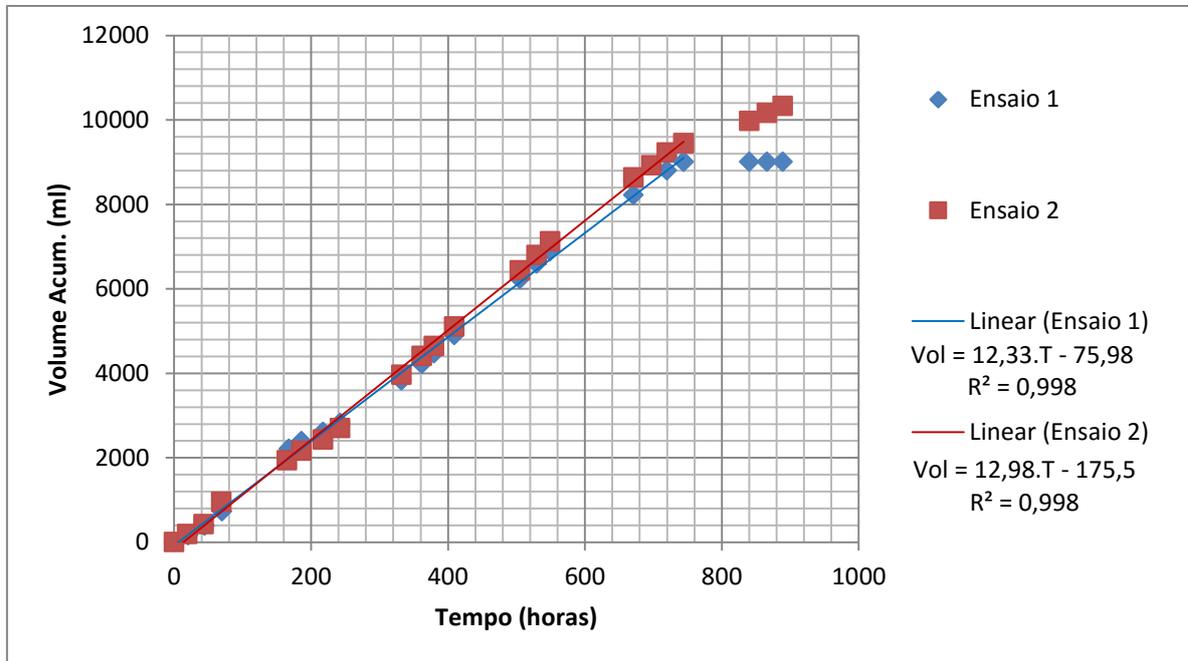


Figura 2 – Volume de biogás gerado ao longo do tempo de tratamento.

A equação da reta de interpolação para a variação do volume acumulado de gás gerado em relação ao tempo apresentado na Figura 2 permite concluir que o volume acumulado variou de forma praticamente constante por aproximadamente 31 dias (750 horas), resultando em um coeficiente de determinação muito próxima a unidade. O coeficiente angular da reta de interpolação representa a taxa ou vazão média de gás gerado durante o ensaio. Esta média encontrada foi de $12,655 \text{ ml.h}^{-1}$.

A produção média total de biogás observada no experimento ao longo dos 37 dias foi de 9,665 L. DI DOMÊNICO (2009) em seu trabalho realizando o mesmo experimento, porém com um volume útil de 3 L nos frascos, obteve um valor total de 24,688 litros de NaOH deslocado em 25 dias de experimento.

Os resultados da degradação anaeróbia permitem indicar que o volume gerado de biogás, se aplicado em escala real, pode ser alternativa para a geração de energia sendo necessário trabalho mais aplicado para garantir a viabilidade técnica em se obter energia por meio do tratamento de dejetos de suínos, especialmente em comunidades rurais.

Por fim, os resultados obtidos demonstram a potencialidade dos dejetos utilizados para fins energéticos e reforçam a idéia de agregação de valor às atividades agropecuárias devido à possibilidade de redução de custos na propriedade, no que se refere aos gastos com energia.

5.4 ATIVIDADE METANOGENÉTICA ESPECÍFICA

Para a quantificação da atividade metanogênica específica (AME) foi calculada a relação entre a DQO consumida e DQO inicial do processo. Tendo em vista que o processo de degradação anaeróbia foi estabilizado em 31 dias após o início do experimento, e considerando a razão de inclinação da curva apresentada na figura 3, a média da AME máxima encontrada para o experimento foi de $0,01655 \text{ gDQO.gSTV}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

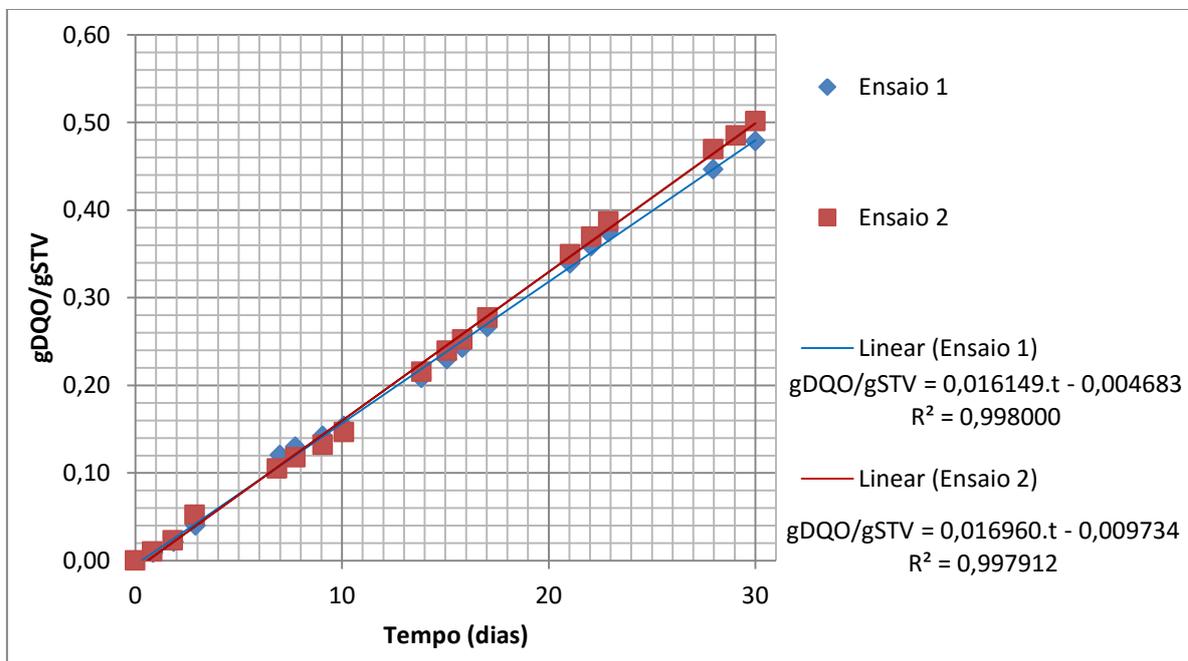


Figura 3 – Resultados máximos da atividade metanogênica.
Fonte: Autoria Própria

A massa média dos sólidos totais voláteis (STV) no processo de tratamento foi de $14,125 \text{ gSTV.L}^{-1}$, como o volume total era de $0,5 \text{ L}$, temos $7,0625 \text{ gSTV}$ de massa de sólidos.

O consumo médio de DQO por dia no experimento foi encontrado multiplicando-se a máxima AME pela massa média de STV presente no experimento. Esse consumo foi expresso por $0,01655 \text{ gDQO.gSTV}^{-1}.\text{d}^{-1}$ multiplicado por $7,0625 \text{ gSTV}$, obtendo o valor de $0,1168 \text{ gDQO.d}^{-1}$. A variação do consumo de DQO.d^{-1} é apresentada na figura 4.

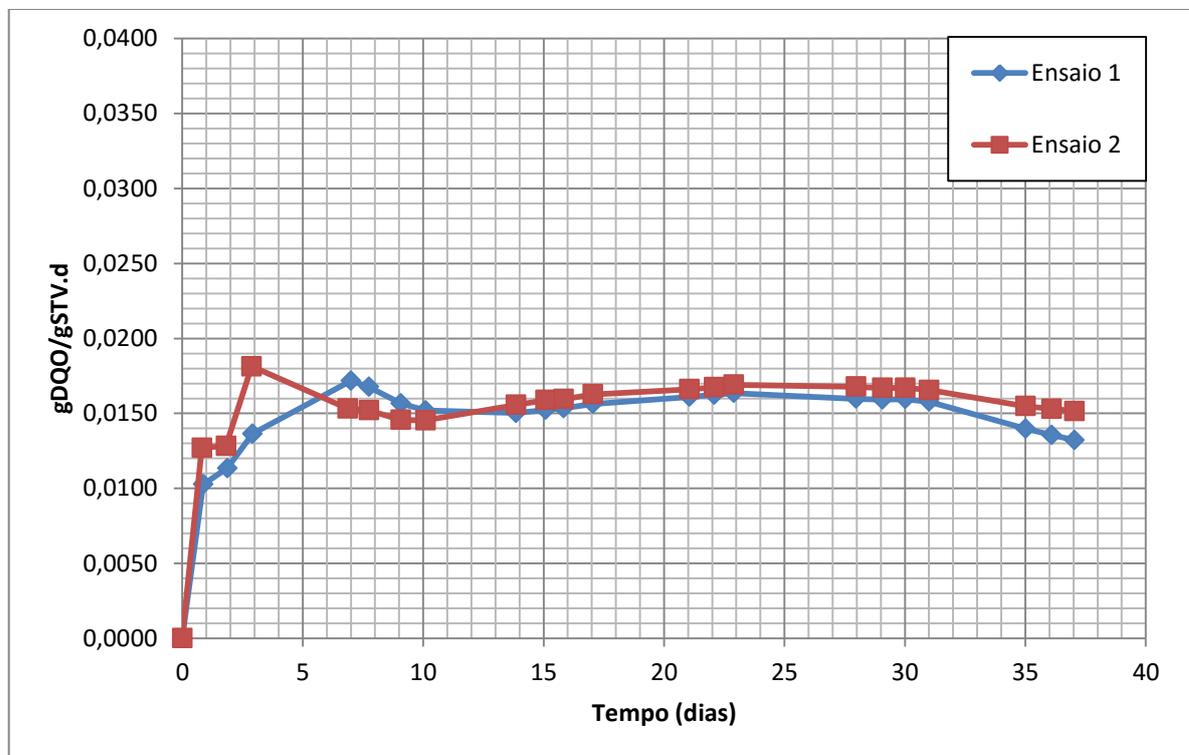


Figura 4 – Consumo diário de DQO.
Fonte: Autoria própria.

Considerando que a AME ocorreu por 31 dias, o total médio de DQO consumida para geração do gás no experimento foi de $3,6208 \text{ gDQO}$.

A DQO média inicial encontrada foi de $11,43 \text{ gDQO.L}^{-1}$ bruta e $7,802 \text{ gDQO.L}^{-1}$ filtrada, que equivalem, respectivamente a uma massa de $5,715 \text{ gDQO}$ e $3,901 \text{ gDQO}$ já que o experimento contava com $0,5 \text{ L}$.

Utilizando os valores apresentados de DQO total consumida e de DQO inicial, obtemos o percentual de substrato convertido em metano, este é dado pela relação entre estas DQOs. Onde para a DQO bruta o valor obtido foi de 63,35 % e para a filtrada de 92,82%.

6 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos ao longo deste trabalho, pode-se concluir que:

A água residuária de suinocultura e o lodo do sistema de biodigestor foram utilizados para ensaio de biodegradabilidade. Os valores dos parâmetros físico-químicos da ARS e do lodo, como; DQO bruta e filtrada e os sólidos indicaram similaridade aos encontrados na literatura.

O tratamento da ARS teve uma eficiência média de remoção de DQO bruta de 21,43 %, de DQO filtrada de 42,4% e de 14,27% para o STV. Esta baixa eficiência possivelmente foi comprometida devido à mistura de lodo na ARS, pois o lodo contém altos valores de sólidos e DQO. Esta baixa eficiência encontrada neste trabalho pode ser explicada pela alta concentração de lodo utilizada no substrato do ensaio de biodegradabilidade, resultando em um acréscimo de sólidos no sistema pelo crescimento dos micro-organismos.

Em relação à produção de biogás verificada ao longo do tratamento, este ocorreu por 37 dias, e o volume total médio de biogás gerado foi de 9,665 L.

O ensaio de degradabilidade anaeróbio para determinação da atividade metanogênica específica (AME) foi realizado de forma satisfatório, gerando uma conversão de substrato em metano média de 63,35 % levando em conta a DQO bruta e de 92,82% em relação a DQO filtrada.

O consumo médio de DQO por dia no experimento foi de $0,1168 \text{ gDQO.d}^{-1}$, resultando em um consumo total de 3,6208 gDQO ao longo do ensaio da biodegradabilidade anaeróbia.

Por fim, este trabalho permitiu a quantificação da biodegradação anaeróbia em termos de geração de gases e consumo de matéria orgânica em termos de DQO, mostrando que a biodigestão é uma boa alternativa para tratar a água residuária de suinocultura, além de consistir em uma valiosa fonte de energia com a geração de gases combustíveis.

REFERÊNCIAS

ABREU, S.B. **Estudo do desempenho de reator anaeróbio-aeróbio de escoamento ascendente no tratamento de esgoto sanitário usando espuma de poliuretano como suporte de imobilização da biomassa.** São Carlos, 2003. 100p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos 2003.

ALVES, R.G.C.M. **Tratamento e Valorização de Dejetos da Suinocultura Através de Processos Anaeróbios - Operação e Avaliação de Diversos Reatores em Escala Real.** Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina. 130p, 2007.

ALVES, R.G.C.M.; FILHO, P. B.; COSTA, R. H. R. da.; ARAUJO, I. S.; OLIVEIRA, J. L. R. **Avaliação de partida e monitoramento da eficiência de remoção da matéria carbonácea em biodigestor de lodo tratando sólidos decantados de dejetos suínos.** XIII SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, II-051. 2008.

AMORIM, B. do N.; MOHEDANO, R. de A.; FISCHMANN, F.; SILVA, M. L. B. da; TAVARES, J. M. R. **Prevenção e redução de impactos ambientais com vista à sustentabilidade na agricultura.** Florianópolis, 2012.

AQUINO, Sérgio F.; CHERNICHARO, Carlos A. L.; FORESTI, Eugênio.; SANTOS, Maria de L. F. dos; MONTEGGIA, Luiz O. **Metodologias para a determinação da Atividade Metanogênica Específica (AME) em Lodos Anaeróbios.** 2007. Artigo técnico. v.4, n.1, p. 192-201, 2007

ARAUJO, Iria Jose; OLIVEIRA, Jose L. R.; ALVES, Rui. G. C. M; FILHO, Paulo Belli; COSTA, Rejane H. R. da. **Avaliação de sistema de tratamento de dejetos suínos instalado no Estado de Santa Catarina.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.16, n.7, p.745–753, 2012 Campina Grande, PB, 2012.

ARRIETA, J.; CANTERA, E. Recuperación biológica y reaprovechamiento de águas de processo, El Papel. n. 79, pp.56-61, Sept/Octubre, 1999.

BARBOSA, George; LANGER, Marcelo. **Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental.** Unoesc & Ciência – ACSA, Joaçaba, v. 2, n. 1, p. 87-96, jan./jun. 2011.

CAMPOS, C. M. M. **Physical aspects affecting granulations in UASB reactors**. 1990. 459 f. Thesis (Ph.D) - Universidade de Newcastle upon Tyne, Newcastle, 1990.

Centro para a Conservação de Energia - CCE- **Guia Técnico de Biogás**. ADENE – Agência para a Energia, Amadora, Portugal, 2000. 106 p.

COSTA, D. F. da. **Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto**. São Paulo, 2006. 194p. Dissertação (Mestrado em Energia) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CHERNICHARO, Carlos A. L. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias** – Vol. 5 – Reatores Anaeróbios. Belo Horizonte: UFMG, 1997. 245 p

CHERNICHARO, Carlos A.L.; VAN HAANDEL, Adrianus C.; AISSE, Miguel M.; CAVALCANTI, Paula F.F. Reatores anaeróbios de manta de lodo. In:CAMPOS, J.R. **Tratamento de esgotos sanitários por processos anaeróbios e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1º ed., p.29-52. 1999.

Chernicharo, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. 2.ed. Belo Horizonte: DESA, UFMG, 2007. 380p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v.5).

COLATTO ,L; LANGER, M. **Biodigestor – resíduo sólido pecuário para produção de energia**. Unoesc & Ciência – ACET, Joaçaba, v. 2, n. 2, p. 119- 128, jul./dez. 2011.

DE ZEN, S.; ORTELAN, C. B.; IGUMA, M. D. **Suinocultura brasileira avança no cenário mundial**. CNA BRASIL, 1ª ed. 2015.

DI DOMÊNICO, J.; TONETTA, D.; BENTO, A. P.; SEZERINO, P. H. **Avaliação da produção de biogás em biodigestores de bancada alimentado com dejetos brutos e dejetos pós-tratamento preliminar**. 2009. Disponível em: < <http://www.ebah.com.br/avaliacao-daproducao-de-biogas-em-biodigestores-de-bancada-alimentados-com-dejeto-bruto-e-dejetoa47381.html> >. Acesso em: 17 out 2015.

DIESEL, Roberto; MIRANDA, Cláudio R.; PERDOMO, Carlos Cláudio. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA - CNPSA /EMATER/RS, 2002. 30 p. EMBRAPA.

DUDA, Rose M. OLIVEIRA, Roberto A. de. Tratamento de águas residuárias de suinocultura em reator UASB e filtro anaeróbio em série seguidos de filtro biológico percolador. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Jaboticabal, v. 16, n. 1, p. 91-100, 2011. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/esa/v16n1/a13v16n1.pdf> >. Acesso em: 25 out 2015.

ECHEVERRIA, Joilson Roda; SANTOS, Tania Mara Baptista dos; CAPPI, Nanci; ANDRADE, Fernando Manoel de Oliveira. **Avaliação da eficiência de um biodigestor tubular em reduzir sólidos de água residuária de suinocultura**. E. Ciências Agrárias - 6. Zootecnia - 5. Zootecnia – ano de 2010.

FERREIRA, Tiago Borges; GOBBO, Carolina Guimarães Rezende; OLIVEIRA, Lilian Taís de; OLIVIERA, Janaina Polyana de. **Análise da eficiência de leitões cultivados no tratamento de efluente suíno**. Fórum ambiental da alta paulista. 2011.

FORESTI, Eugênio; FLORÊNCIO, Lurdinha; VAN HAANDEL, Adrianus C; ZAIAT, Marcelo; CAVALCANTI, Paula F.F. Fundamentos do tratamento anaeróbio. In: CAMPOS, José R (Coord). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: PROSAB/ABES, Cap. 2, 1999.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estatística da produção pecuária**. 2014. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201401_publicacao_completa.pdf >. Acesso em: 25 out 2015.

KATO, Mario T.; ANDRADE NETO, Cícero O.; CHERNICHARO, Carlos A. de L.; FORESTI, Eugênio; CYBIS, Luiz F. Configurações de reatores anaeróbios. In: CAMPOS, José R (Coord). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Capítulo 3, Rio de Janeiro: PROSAB/ABES, 1999.

KONZEN, E. A. Manejo e utilização dos dejetos suínos. **Circular técnica 6**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1983. 32 p.

KREUTZ, Cristiane. **Comportamento de Reator Anaeróbio-aeróbio no Tratamento de Efluente Bovino**. 2012. 114 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola - Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Unioeste, Cascavel, 2012.

MAGO, Anigeli D. **Avaliação de biodigestores com o uso de dejetos de suínos, em braço do norte e em concórdia**. Florianópolis, 2009. 134p. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

MATOS, Antonio Teixeira de; SEDIYAMA, Maria Aparecida N. de; FREITAS, Silvério de Paiva. **Características químicas e microbiológicas do solo, influenciadas pela aplicação de dejetos líquidos de suínos**. Revista Ceres, Viçosa, v.44, n.254, p.399-410, 1997.

MATOS, A. T. **Curso sobre tratamento de resíduos agroindustriais**. Viçosa: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2005. 34p

MONTEGGIA, L. O. **The Use of specific methanogenic activity for controlling anaerobic reactors**, 307f. Tese (Doutorado)-Newcastle: University of Newcastle Upon Tyne. England, 1991.

MORAES, L.M.; PAULA JUNIOR, D.R. **Biodegradabilidade anaeróbia de dejetos da bovinocultura e de suinocultura**. Recife, 2000.

MOSEY, F.E. Mathematical modelling of the anaerobic digestion process: **regulatory mechanisms for the formation of short-chain volatile acids from glucose**. Water Science and Technology, n.15, p. 209-232. 1983

OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M.; MATTEI, R. M. **Biodigestor como unidade de tratamento dos dejetos de suínos**. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE SUINOCULTURA, 3; 2006, Foz do Iguaçu. Anais... Campinas: Editora Animal/World.

OLIVEIRA, P.A.V. de; HIGARASHI, M.M. **Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006.

ORRICO JUNIOR, Marco A. P.; ORRICO, Ana C. A.; JUNIOR, Jorge de Lucas. **Potencial de produção de biogás remanescente nos efluentes de biodigestores abastecidos com dejetos suínos, com e sem separação da fração sólida, e conduzidos sob diferentes tempos de retenção hidráulica**. Eng. Agríc. Jaboticabal, v.29, n.4, p.679-686, 2009.

PEREIRA, E. R. **Desempenho e caracterização microbiana do processo de dois estágios com reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo(UASB) tratando águas residuárias de suinocultura**. São Carlos, 2004. 104p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos 2004.

ROSA, Gabriel Martins da; HENRARD, Adriano S. A.; MORAES, Luiza. Cultivo semicontínuo da microalga. **XXI Salão de Iniciação científica UFRGS**. Porto Alegre. 2009. Disponível em: < <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/44446>>. Acesso em: 25 out 2015.

SENAR. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Fórum sobre suinocultura de baixa emissão de carbono**. Ano de 2015. Disponível: < <https://abcsenar.wordpress.com/2015/10/28/forum-sobre-suinocultura-de-baixa-emissao-de-carbono-vai-mostrar-os-beneficios-para-o-produtor-ao-investir-no-reaproveitamento-dos-dejetos-animais/>>. Acesso em: 05 nov. 2015.

SILVA, Priscila de C. **Desempenho de um filtro aneróbio**. 2014. 113 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Inovações Ambientais) Programa de Pós- Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais. Universidade Federal de Lavras. 2014. Disponível em: < http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/4492/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Desempenho%20de%20um%20filtro%20anaer%C3%B3bio%20de%20fluxo%20ascendente%20como%20unidade%20de%20tratamento%20para.pdf >. Acesso em: 25 out. 2015.

VAN HAANDEL, Adrianus; MARAIS, Guerrit R.V. O comportamento do sistema de lodo ativado – epgraf, 1° ed., 147p. 1999.

VAZOLLER, R. F; Fundação André Tosello; Departamento BDT - Banco de Dados Tropical; Biodiversidade: Perspectivas e Oportunidades Tecnológicas; **Microbiologia e Saneamento Ambiental**. 2005.

WOESE, Carl R.; FOX, George E. **Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: the primary kingdoms**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 74, p. 5088-5090. 1997.

ZEEMAN, G. **Mesophilic and psychrophilic digestion of liquid manure**. Tese (Doutorado). Landbouwniversiteit. Wageningen, Netherlands. 1991.