

INFLUÊNCIA DA CARGA ORGÂNICA VOLUMÉTRICA NA RECUPERAÇÃO DE METANO EM UM REATOR CSTR TRATANDO DEJETO SUÍNO

ANDRÉ CESTONARO DO AMARAL¹, AIRTON KUNZ², DEISI CRISTINA TÁPPARO³, TAIS CARLA GASPARETO⁴, RICARDO LUIS RADIS STEINMETZ⁵

¹ Doutorando em Engenharia Agrícola, PGEAGRI – Unioeste, Cascavel – PR, (49) 3441 3239, andrec.doamaral@gmail.com

² Pesquisador, Embrapa Suínos e Aves, Eng. Agrícola, PGEAGRI, (49) 3441 0400, airton.kunz@embrapa.br

³ Mestranda em Engenharia Agrícola, PGEAGRI – Unioeste, Cascavel – PR, (49) 3441 3239, deisictapparo@gmail.com

⁴ Graduanda em Engenharia ambiental e sanitária– UnC, Concórdia SC, (49) 3441 3239, taisgaspareto@hotmail.com

⁵ Analista, Embrapa Suínos e Aves, Concórdia – SC, (49) 3441 0400, ricardo.steinmetz@embrapa.br

Apresentado no
XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016
24 a 28 de julho de 2016 - Florianópolis - SC, Brasil

RESUMO: Dentre as inúmeras possibilidades para reduzir os impactos ambientais da suinocultura, a digestão anaeróbia é comumente considerada uma etapa fundamental para remoção de matéria orgânica, tendo como produto o biogás. A crescente demanda de energia faz-se considerar a opção de utilização de biodigestores de alta tecnologia aplicada, por exemplo, reatores CSTR (do inglês *Continuous Stirred Tank Reactor*). Este estudo avaliou a influência da carga orgânica volumétrica (COV) na recuperação de metano em reator CSTR operado com dejetos suínos. Utilizou-se um reator CSTR com volume de trabalho de 12L operado a 37°C, acoplado a um medidor de volume de biogás (*Ritter-Milligascounter*). Avaliou-se o potencial metanogênico específico do dejetos suínos utilizando-se o equipamento AMPTS-II, seguindo norma internacional VDI 4630. A progressão de COV foi realizada diminuindo-se o TRH de 35 a 20 dias, dividido em 5 etapas. Na etapa 1 (TRH 35d; COV 0,621 KgSV.m⁻³.d⁻¹) recuperou-se 0,133Nm³CH₄.KgSV_{adic}.d⁻¹, equivalendo a 54,70% do potencial metanogênico específico, sendo a menor eficiência alcançada. Na etapa 4 (TRH 20d; COV 1,064 KgSV.m⁻³.d⁻¹) recuperou-se 0,183Nm³CH₄.kgSV_{adic}.d⁻¹, equivalente a 90,52% do potencial metanogênico específico, sendo o melhor resultado atingido. O incremento na carga orgânica volumétrica colaborou para aumentar a produção de metano e a diminuição do TRH até 20d não diminuiu a eficiência de produção de metano do reator.

PALAVRAS-CHAVE: Digestão Anaeróbia, VDI 4630, Tempo de retenção hidráulico;

INFLUENCE OF ORGANIC LOAD RATE ON METHANE RECOVERY IN A CSTR REACTOR TREATING SWINE MANURE

ABSTRACT: Among the numerous possibilities to reduce the environmental impact of swine production, anaerobic digestion is commonly considered a key step for removing organic matter, generating biogas. The increasing for energy demand does consider the use of high technology applied digester options, for example, CSTR reactors (Continuous Stirred Tank Reactor). This study aimed to evaluate the influence of organic loading rate (OLR) on methane recovery in CSTR reactor 12L of working volume operated at 37°C, operated with swine manure, coupled to a biogas volume meter (Ritter-Milligascounter). Swine manure BMP was evaluated utilizing an AMPTS-II equipment, following international standard VDI 4630. The OLR increasing was performed by HTR decreasing (35 to 20 days), divided into 5 steps. In step 1 (HRT 35d; ORL 0.621 KgVS.m⁻³.d⁻¹) was recovered 0.133 Nm³CH₄.KgVS_{add}.d⁻¹

¹, equivalent to 54.70% of biochemical methane potential, being lower efficiency achieved. In step 4 (HRT 20d; ORL 1.064 KgVS.m⁻³.d⁻¹) 0.183 Nm³_{CH₄}.KgVS_{add}.d⁻¹ was recovered, equivalent to 90.52% of biochemical methane potential, being the best results achieved. The increase in organic load contributed to increase the methane production and the HRT reduction to 20d does not reduce the reactor efficiency.

KEYWORDS: Anaerobic digestion, VDI 4630, Hydraulic retention time;

INTRODUÇÃO

A suinocultura industrial é caracterizada pela produção intensiva de suínos, os quais geram grandes quantidades de efluentes. Esses efluentes são constituídos por urina, fezes, desperdícios de água, restos de ração, resíduos de drogas antibióticas e microrganismos patogênicos. Considerando essas características, recomenda-se que esse material seja adequadamente gerenciado para evitar impactos ambientais (KUNZ et al., 2009, VIANCELLI et al., 2012).

Várias alternativas são disponíveis para o tratamento de efluentes com elevada concentração de matéria orgânica. Dentro delas, a digestão anaeróbia é uma tecnologia bastante competitiva, com grande aceitação pelos usuários devido ao reduzido custo de implementação, operação e manutenção, possibilitando a produção de biogás e biofertilizante (DEUBLEIN E STEINHAUSER, 2011). O potencial metanogênico específico (PME) a partir de dejetos suíno pode ser bastante variável, pois depende de vários fatores, por exemplo: concentração de matéria orgânica, tempo de retenção pré-tratamento e fase de crescimento/produção do animal gerador. AMARAL et al., (2016) estudaram o PME de dejetos suíno gerado em diferentes unidades produtoras e encontraram valores entre 0,170 a 0,642 Nm³_{CH₄}.KgSV⁻¹_{adic}.

O ponto central de um sistema de tratamento anaeróbio é o modelo do biodigestor utilizado, sempre buscando projetos adaptados ao tipo de substrato a ser tratado. O desenvolvimento de biodigestores do tipo CSTR (do inglês *Continuous Stirred Tank Reactor*) combina inúmeras vantagens em relação aos processos convencionais, principalmente no que diz respeito a suportar elevadas cargas orgânicas volumétricas (COV) possibilitando a sua utilização para uma grande variedade de águas residuárias (LUKEHURST e BYWATER, 2015). Essa configuração de reator é a mais utilizada em plantas de biogás, correspondendo a aproximadamente 90% dos reatores construídos ultimamente na Europa (SHAH et al., 2015).

Para o processo de produção de biogás ser eficiente é necessário garantir a máxima utilização do substrato e um mínimo metano residual a fim de reduzir as emissões a partir do digestato. Os parâmetros chave para essa ótima conversão envolvem as características do substrato, tempo de retenção hidráulico (TRH), COV, a estabilidade do reator anaeróbio e a temperatura em que o processo ocorre (RUILE et al., 2015).

Devido ao crescente interesse no setor de biogás/metano e aumento de tecnologias disponíveis no mercado nacional, esse estudo objetivou avaliar a influência da carga orgânica volumétrica na capacidade de recuperação de metano em um reator CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*) alimentado com dejetos suíno.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta de amostras: Todas as coletas de dejetos foram realizadas em uma unidade

produtora de desmame (UPD) comercial, diretamente em calhas dentro das instalações, onde estavam alojadas fêmeas reprodutoras suínas em gestação.

Teste de potencial metanogênico específico (PME): Os ensaios biocinéticos foram realizados no Laboratório de Estudos em Biogás da Embrapa Suínos e Aves, Concórdia/SC. Os testes seguiram recomendações da norma VDI 4630 (2006) utilizando método em batelada. As medidas de produção de biogás foram efetuadas por meio do equipamento AMPTS II. Como inóculo anaeróbio mesofílico foi utilizado material aclimatado, preparado a partir de partes iguais (1+1+1) de: a) lodo anaeróbio de reator UASB alimentado com dejetos de suínos, b) lodo anaeróbio de UASB de indústria de alimentos e c) esterco bovino fresco. Duas semanas antes do teste o inóculo foi aclimatado (37 ± 1 °C) em reator de mistura completa e alimentado com a amostra na carga de $0,3 \text{ KgSV.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$) durante 7 dias consecutivos. Em seguida, o inóculo permaneceu 7 dias sem alimentação com a finalidade de reduzir a linha de base (reduzir a contribuição de biogás proveniente do inóculo) (STEINMETZ et al., 2014). O ensaio é considerado finalizado quando a produção diária de biogás/metano foi inferior a 1% da quantidade já produzida (VDI 4630, 2006).

Testes em reator CSTR: A configuração utilizada foi de um reator CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*), construído em acrílico com volume de trabalho de 12 L, encamisado, permitindo circulação de água para controle de temperatura. A temperatura foi controlada por um banho termostático (JULABO, modelo M8), sendo mantida na faixa mesofílica ($37^\circ\text{C} \pm 1$). O reator foi alimentado de forma intermitente, sendo uma vez ao dia, de forma manual. A produção de biogás foi quantificada por um medidor de volume de biogás (*Ritter-Milligascounter*). A concentração de metano foi avaliada utilizando-se o equipamento BIOGAS 5000-LANDTEC.

Partida do reator CSTR: Foram coletados 7,5 L de afluente de um digestor anaeróbio de fluxo ascendente (UASB) operado na Estação de Tratamento de Dejetos Suínos na Embrapa Suínos e Aves e 7,5 L de afluente de um digestor de lagoa coberta operado em uma granja UPD comercial, servindo como inóculo para o teste com reator CSTR.

Progressão de carga orgânica volumétrica: Foi realizada progressão de carga orgânica volumétrica por redução de tempo de retenção hidráulica (TRH) junto ao reator CSTR, conforme apresentado na Tabela 1.

TABELA 1. Condições operacionais do teste de digestão anaeróbia em reator CSTR durante as 5 etapas do estudo. **Operational conditions of anaerobic digestion test in CSTR reactor during 5 step.**

Etapa	Duração (dias)	TRH (dias)	Vazão (L.dia^{-1})	Concentração SV (g.Kg^{-1})	COV ($\text{g SV.L}^{-1}.\text{d}^{-1}$)
1	22	35	0,34	21,92	0,621
2	23	30	0,40	21,92	0,731
3	40	25	0,48	14,00	0,560
4	50	20	0,6	21,28	1,064
5	25	20	0,6	16,12	0,806

Na etapa 5 foi realizado recirculação de lodo. O efluente do reator foi sedimentado por 30 minutos e coletou-se 0,2 litros do lodo. Esse lodo foi misturado a alimentação (0,4 litros) e adicionado ao reator (0,6 litros).

Técnicas analíticas: As análises de sólidos voláteis e nitrogênio amoniacal total

foram realizadas segundo procedimento descrito no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012). A relação entre alcalinidade intermediária / alcalinidade parcial (AI/AP) foi realizada segundo procedimento descrito por LIEBETRAU et al., 2016.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teste PME: Para poder estimar-se a eficiência de recuperação de metano pelo reator CSTR, a primeira fase do presente estudo foi avaliar o PME dos substratos estudados durante as etapas 1 a 5 (Figura 1).

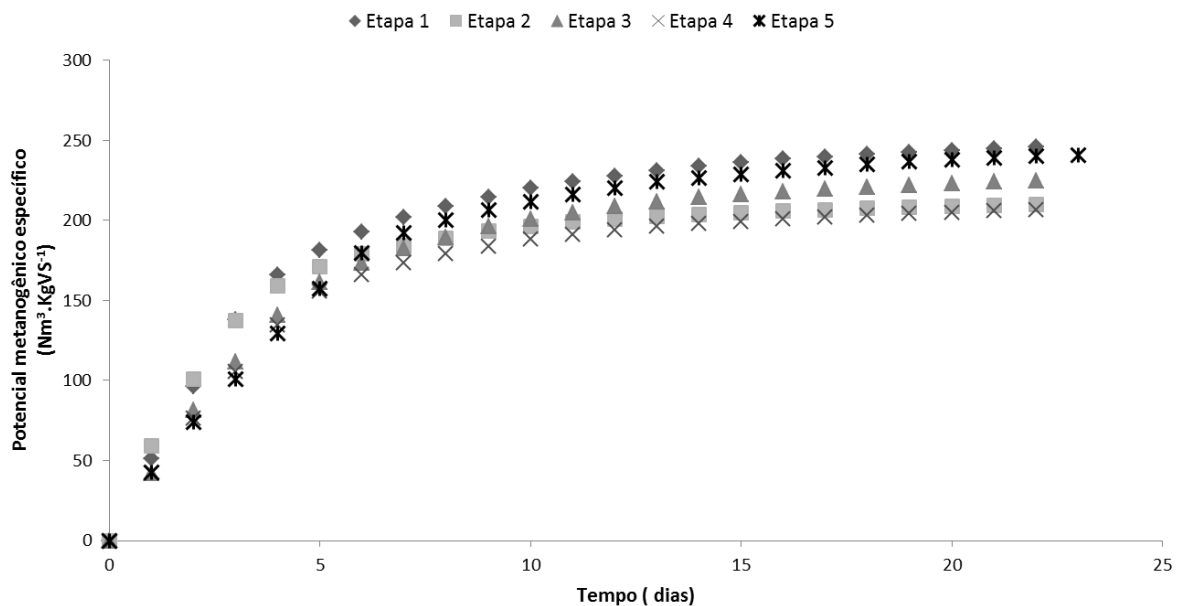


FIGURA 1: Potencial metanogênico específico (PME) do efluente suinícola utilizado em cada etapa do estudo. **Biochemical Methane Potential (BMP) of swine manure used in each step of the study.**

As estabilizações dos ensaios cinéticos (Figura 1) ocorreram nos dias 19, 19, 19, 17 e 25 respectivamente (VDI 4630, 2006), alcançando valores de PME de $0,243 \pm 0,03$, $0,243 \pm 0,01$, $0,258 \pm 0,01$, $0,202 \pm 0,02$ e $0,240 \pm 0,01$ $\text{Nm}^3_{\text{metano}}.\text{KgSV}^{-1}$. Esses valores estão condizentes com valores presentes na literatura, sendo de 21 a 30 dias para estabilização dos testes e entre $0,170$ a $0,642$ $\text{Nm}^3.\text{KgSV}^{-1}$ a recuperação de metano (AMARAL et al., 2016).

Teste com reator CSTR: A eficiência de remoção de sólidos voláteis e os valores de recuperação de metano alcançados nas 5 etapas estão apresentados na Tabela 2.

Observa-se que durante a etapa 1 o reator apresentou melhor capacidade de mineralização da matéria orgânica, maior remoção de sólidos voláteis (SV) (AMARAL et al., 2014), porém a recuperação de metano foi a menor entre as etapas. Esse fato pode estar relacionado a adaptação dos microrganismos (início da operação do reator), ou seja, a concentração de biomassa pode ser menor que as etapas seguintes, levando a uma diminuição na eficiência de produção de metano (GOBERNA et al., 2015) Observa-se na Figura 2, que nos primeiros 20 dias (Etapa 1) de operação do reator, ocorreram grandes variações nos valores da relação IA/IP, de 0,300 a 0,100, indicando instabilidade no sistema reacional (LILI et al., 2011).

A norma VDI 4630, (2006) indica como satisfatória a recuperação de mais de 80% do potencial de produção de metano de substratos padrão. Usando essa mesma metodologia, podemos considerar a recuperação de metano satisfatória para as etapas 2, 3, 4 e 5. Durante a etapa 1, esse valor não foi atingido, provavelmente devido a aclimação da biomassa.

TABELA 2. Eficiência do reator CSTR quanto a redução de sólidos voláteis e recuperação de metano em diferentes condições operacionais. **CSTR reactor efficiency on volatile solid reduction and methane recovery in different operation conditions.**

Etapa	TRH	Entrada $g_{SV} \cdot Kg^{-1}$	Saída SV $g_{SV} \cdot Kg^{-1}$	Redução de SV %	COV $Kg_{SV} \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$	Metano $Nm^3 \cdot KgSV^{-1}$	PME $Nm^3 \cdot KgSV^{-1}_{adic}$	Recuperação de metano (%)
1	35	21,92	8,18	62,67	0,621	0,133	0,243	54,70
2	30	21,92	12,21	44,28	0,731	0,209	0,243	86,13
3	25	14,00	9,50	32,16	0,560	0,220	0,258	85,29
4	20	21,28	10,05	52,76	1,064	0,183	0,202	90,52
5	20	16,12	12,11	24,85	0,806	0,200	0,240	83,15

Do dia 100 ao dia 160 o reator apresentou maior estabilidade no processo de digestão anaeróbia, indicada pela pouca variação nos resultados da relação IA/AP, mantendo-se em média 0,125. Esse valor indica que o reator pode suportar uma elevação na carga orgânica volumétrica. Porém devido à baixa concentração de sólidos voláteis no substrato (1 a 2%), seria necessário diminuir o tempo de retenção hidráulica. A diminuição do TRH para valores bastante inferiores ao tempo de estabilização do teste de PME podem levar a um aumento nas emissões de metano proveniente do digestato (RUILE et al, 2015).

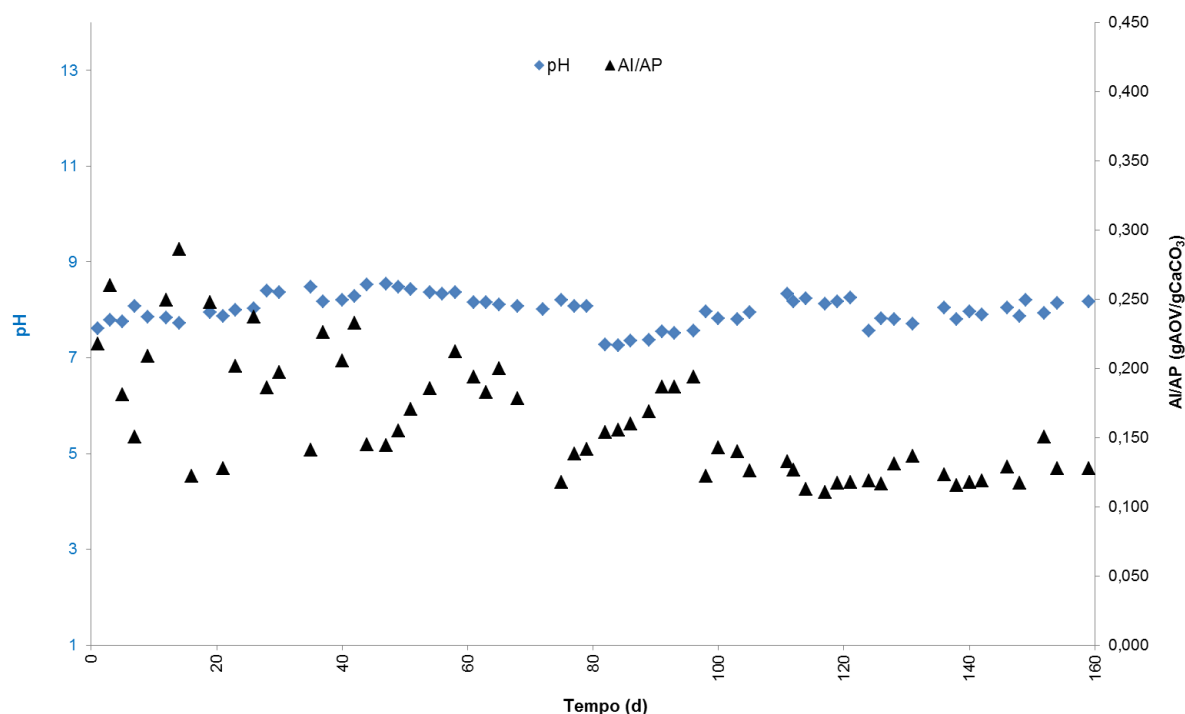


FIGURA 2: Acompanhamento do pH e relação alcalinidade intermediária / alcalinidade parcial (AI/AP) no reator CSTR. pH and volatile organic acid / total inorganic carbon (VOA/TIC) monitoring in CSTR reactor.

Entre os dias 135 a 160 foi realizada a recirculação de lodo. Observou-se diminuição na recuperação de metano (Tabela 2), provavelmente por afetar a relação substrato/microrganismo. A diminuição da disponibilidade de substrato pode afetar negativamente a atividade dos microrganismos anaeróbios (PEREZ et al., 1999).

A concentração de nitrogênio amoniacal total foi em média $2,24 \pm 0,30$ g N-NH₃.L⁻¹, e a concentração de amônia livre foi em média $147,27 \pm 22,57$ mg N-NH₃.L⁻¹. Não foi evidenciada inibição da produção de metano por excesso de amônia livre, mesmo tendo concentração média superior ao recomendado pela literatura, 100 mg N-NH₃.L⁻¹ (YENIGUN e DEMIREL, 2013). Observa-se na Figura 3 que não houve grandes variações na concentração de amônia livre (desvio padrão $\pm 22,57$), indicando uma aclimação dos microrganismos às características do substrato (CHEN et al., 2008).

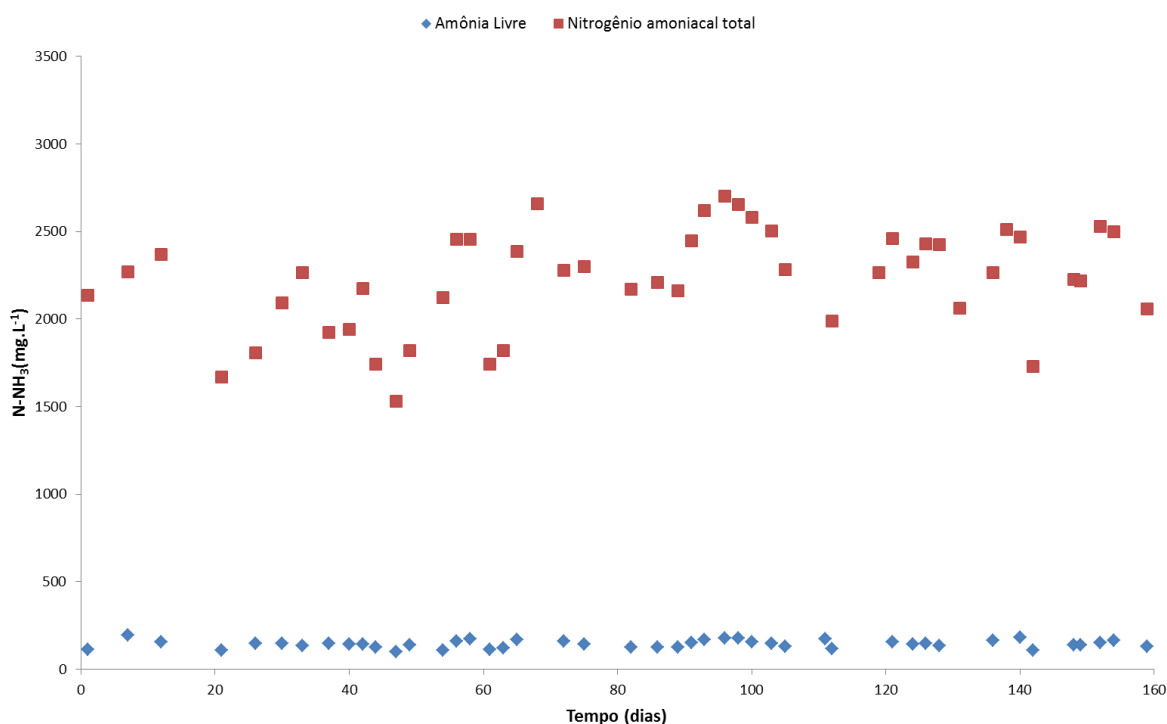


FIGURA 3: Acompanhamento das concentrações de nitrogênio amoniacal total e amônia livre no reator CSTR. **Monitoring of total ammonia nitrogen and free ammonia nitrogen in CSTR reactor.**

CONCLUSÕES

O aumento da carga orgânica volumétrica até $1,06$ KgSV.m⁻³.d⁻¹ e diminuição do TRH a 20 dias colaboram para elevação na recuperação de metano. Os valores de pH e relação IA/AP durante todo o experimento mostram a estabilidade do processo de monodigestão de dejetos suíno em reator CSTR. Não há evidências de inibição na produção de metano devido a concentração de amônia livre, indicando a aclimação da biomassa às características do substrato.

Os resultados são altamente significativos para o sistema proposto quando o objetivo é produção de metano, pois é possível trabalhar com um baixo TRH (20 dias) e alcançar valores de recuperação satisfatórios. Isso indica um aumento na capacidade de produção de metano em uma unidade produtora de suínos em uma menor planta de tratamento.

REFERÊNCIAS

- AMARAL A. C., KUNZ, A., STEINMETZ, R. L. R., CANTELLI, F., SCUSSIATO, L. A., JUSTI, K. C. **SWINE EFFLUENT TREATMENT USING ANAEROBIC DIGESTION AT DIFFERENT LOADING RATES.** ENG. AGRÍC. JABOTICAVAL, V. 34, N, 3 P.567-576, 2014.
- AMARAL A. C., KUNZ, A., STEINMETZ, R. L. R., SCUSSIATO, L. A., TÁPPARO, D. C., GASPARETO, T. C. **INFLUENCE OF SOLID-LIQUID SEPARATION STRATEGY ON BIOGAS YIELD FROM A STRATIFIED SWINE PRODUCTION SYSTEM.** JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. V. 196, P. 229-235, 2016.
- APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER.** 22ST. ED. WASHINGTON: APHA, 2012.
- CHEN, Y., CHENG, J.J., CREAMER, K.S.. **INHIBITION OF ANAEROBIC DIGESTION PROCESS: A REVIEW.** BIORESOURCE TECHNOLOGY, V. 99 P. 4044-4064, 2008.
- DUBLIN, D., STEINHAUSER, A. **BIOGAS FROM WASTE AND RENEWABLE RESOURCES: AN INTRODUCTION.** WILEY-VCH, 2011.
- GOBERNA M., GADERMAIR M., FRANKE-WHITTLE I.H., GARCIA C., WETT B., INSAM H., **START-UP STRATEGIES IN MANURE-FED BIOGAS REACTORS: PROCESS PARAMETERS AND METHANOGENIC COMMUNITIES.** BIOMASS & BIOENERGY. V 75, P. 46-56, 2015.
- KUNZ, A.; MIELE, M.; STEINMETZ, R. L. R. **ADVANCED SWINE MANURE TREATMENT END UTILIZATION IN BRAZIL.** BIORESOURCE TECHNOLOGY, V.100, N.22, P.5485-5489, 2009
- LIEBETRAU J., PFEIFFER D., THRÄN D. **COLLECTION OF METHODS FOR BIOGAS: METHODS TO DETERMINE PARAMETERS FOR ANALYSIS PURPOSES AND PARAMETERS THAT DESCRIBE PROCESSES IN THE BIOGAS SECTOR.** BIOMASS ENERGY USE, V.7, 2016.
- LILI, M., BIRO, G., SULYOK, E., PETIS, M., BORBELY, J., TAMAS, J. **NOVEL APPROACH ON THE BASIS OF FOS/TAC METHOD.** ANALELE UNIVERSITATII DIN ORADEA, FASCICULA PROTECTIA MEDIULUI, VOL. 17, 2011.
- LUKEHURST C., BYWATER A. **EXPLORING THE VIABILITY OF SMALL SCALE ANAEROBIC DIGESTERS IN LIVESTOCK FARMING.** IEA BIOENERGY, 2015.
- PÉREZ, M., ROMERO, L. I., SALES, D. **ANAEROBIC THERMOPHILIC FLUIDIZED BED TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER: EFFECT OF F:M RELATIONSHIP.** CHEMOSPHERE. V. 38, P. 3443-3461, 1999.
- RUILE, S., SCHMITZ, S., MONCH-TEGEDER, M., OECHSNER, H. **DEGRADATION EFFICIENCY OF AGRICULTURAL BIOGAS PLANTS – A FULL-SCALE STUDY.** BIORESOURCE TECHNOLOGY, V. 178, P. 341-349, 2015
- SHAH, F. A., MAHMOOD, Q., RASHID, N., PERVEZ, A., RAJA, I. A., SHAH, M. M. **CO-DIGESTION, PRETREATMENT AND DIGESTER DESIGN FOR ENHANCED METHANOGENESIS.** RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS. V. 42, P. 627- 642, 2015.
- STEINMETZ, R.L.R, KUNZ, A., AMARAL, A. C., SOARES, H. M., SCHMIDT, T.,

WEDWITSCHKA, H. SUGGESTED METHOD FOR MESOPHILIC INOCULUM ACCLIMATION TO BMP ASSAY. IN: XI LATIN AMERICAN WORKSHOP AND SYMPOSIUM ON ANAEROBIC DIGESTION. HAVANA, CUBA. 2014.

VDI 4630, 2006. FERMENTATION OF ORGANIC MATERIALS – CHARACTERIZATION OF THE SUBSTRATE, SAMPLING, COLLECTION OF MATERIAL DATA, FERMENTATION TESTS. THE ASSOCIATION OF GERMAN ENGINEERS, DÜSSELDORF, GERMANY.

VIANCELLI, A., GARCIA, L. A. T., SCHIOCHET, M., KUNZ, A., STEINMETZ, R., ZANELLA J. R. C., ESTEVES, P. A., BARARDI, C. R. M. CULTURING AND MOLECULAR METHODS TO ASSESS THE INFECTIVITY OF PORCINE CIRCOVIRUS FROM TREATED EFFLUENT OF SWINE MANURE. RESEARCH IN VETERINARY SCIENCE. V. 93, P. 1520-1524, 2012.

YENIGUN, O., DEMIREL, B. AMMONIA INHIBITION IN ANAEROBIC DIGESTION: A REVIEW. PROCESS BIOCHEMISTRY, V. 48, P. 901-911, 2013.