

Produção de metano via codigestão anaeróbia de efluentes das indústrias de arroz parboilizado e laticínios

As indústrias de processamento de arroz e laticínios geram efluentes com grande potencial poluidor que requerem modelos alternativos de tratamento. Nesse sentido, a codigestão anaeróbia surge como processo de tratamento preliminar capaz de fornecer energia limpa durante seus processos de fermentação. O objetivo deste estudo, foi avaliar a melhor proporção de mistura dos substratos e inóculo para elevar a eficiência da produção de metano via codigestão anaeróbia com lodo da indústria de arroz (inóculo) e efluente das indústrias de laticínios e arroz parboilizado (substratos), gerados no Rio Grande do Sul, por meio de delineamento experimental com arranjo fatorial 2^3 , quantificando o metano gerado, através de um sistema desenvolvido com base no deslocamento de fluidos, e análises pH e Demanda Química de Oxigênio. O experimento ocorreu em batelada, à 35°C por 252 horas. A maior produção de metano, 1,50 dm³, ocorreu no biodigestor que recebeu 40% de efluente de arroz, 20% efluente de laticínios e 30% de inóculo. Quanto a remoção de Demanda Química de Oxigênio (DQO), os biodigestores que removeram maiores cargas de DQO foram, em sua maioria, os mesmos que produziram maiores volumes de metano, com remoções de até 76,74%. Todos os pontos apresentaram acidez em suas amostras de entrada e neutralidade nas de saída. Quanto ao sistema de quantificação de gases desenvolvido no estudo, o mesmo apresentou alta eficácia, com baixo desvio padrão e coeficiente de variação.

Palavras-chave: Cosubstrato; Inóculo; Lodo; Efluente; Codigestão Anaeróbia.

Methane production from anaerobic codigestion of wastewater from parboiled rice and dairy industries

The rice and dairy processing industries generate effluents with high polluting potential that require alternative treatment models. In this sense, anaerobic codigestion emerges as a preliminary treatment process capable of providing clean energy during its fermentation processes. The objective of this study was to evaluate the best mixing ratio of substrates and inoculum to increase the efficiency of methane production from anaerobic codigestion with sludge from the rice industry (inoculum) and effluent from the dairy and parboiled rice industries (substrates), generated in Rio Grande do Sul, by means of an experimental design with factorial arrangement 2^3 , quantifying the generated methane, through a system developed based on the displacement of fluids, and pH and Chemical Oxygen Demand analyzes. The experiment was carried out in batch at 35 °C for 252 hours. The highest methane production, 1.50 dm³, occurred in the biodigester that received 40% of rice effluent, 20% of dairy effluent and 30% of inoculum. Regarding the removal of Chemical Oxygen Demand (COD), the biodigesters that removed the highest COD loads were mostly the same ones that produced higher volumes of methane, with removals of up to 76.74%. All points showed acidity in their input samples and neutrality in the output samples. As for the gas quantification system developed in the study, it showed high efficiency, with low standard deviation and coefficient of variation.

Keywords: Cosubstrat; Inoculum; Sludge; Wastewater; Anaerobic Codigestion.

Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**

Received: **02/12/2018**

Approved: **26/01/2019**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Willian César Nadaleti 
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4670559561277136>
<http://orcid.org/0000-0002-4727-4127>
williancezarnadaleti@gmail.com

Vitor Alves Lourenço 
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0540242108317748>
<http://orcid.org/0000-0003-3940-7812>
vitor.a.lourenco@gmail.com

Guilherme Pereira Schoeler
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6241607536410111>
guilherme.schoeler@gmail.com

Renan de Freitas Santos
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5554896977518652>
reh.8@hotmail.com

Marcela da Silva Afonso
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4021730824954104>
marcelamafonso@yahoo.com.br

Bruno Müller Vieira
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1885554662703620>
bruno.prppg@hotmail.com

Diuliana Leandro
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3076528365846421>
diuliana.leandro@gmail.com

Anaís França de Matos Oliveira
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4972641617559480>
anaís.franca@uol.com.br

Ivanna Franck Koschier
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3875700843821844>
ivannafk@hotmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2019.001.0012

Referencing this:

NADALETI, W. C.; LOURENÇO, V. A.; SCHOELER, G. P.; SANTOS, R. F.; AFONSO, M. F.; VIEIRA, B. M.; LEANDRO, D.; OLIVEIRA, A. F. M.; KOSCHIER, I. F.. Produção de metano via codigestão anaeróbia de efluentes das indústrias de arroz parboilizado e laticínios. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.1, p.146-156, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.001.0012>

INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos 40 anos a inserção de tecnologias no campo, através de máquinas, técnicas de cultivo e uso da irrigação, levaram à uma elevação nas taxas da produção agrícola no Brasil (CONAB, 2017), Segundo o The Statista Portal, o país fechou 2017 com cerca de 12,3 milhões de toneladas de arroz produzidos (STATISTA, 2018) com previsão de crescimento de 0,86% para os próximos anos (SPINOSA et al., 2016).

O crescimento do número de indústrias de processamento de arroz necessários para manter a demanda populacional, acarreta em uma maior geração de efluentes de elevada carga orgânica e níveis significativos de nitrogênio e fósforo (BASTOS et al., 2010; KUMAR et al., 2016; QUEIROZ et al., 2007; SANTOS et al., 2012). Outro importante setor da agroindústria dentro do cenário nacional é o dos laticínios, o país é um dos principais produtores do produto no mundo, tendo produzido cerca de 35 milhões de toneladas de leite e seus derivados no ano de 2017 (FAO, 2018). Sendo o Rio Grande do Sul um estado com alta produção em ambos os setores, estando em primeiro lugar no ranking de produção de arroz (IBGE, 2017) e ocupando a segunda colocação na produção de laticínios (RIO GRANDE DO SUL, 2018).

Estima-se que as indústrias de processamento de leite geram de 2,5 litros de efluente por litro de leite processado (LEKSHMISREE et al., 2016), tal efluente possui é altamente poluidor, principalmente por sua alta concentração de matéria orgânica, constituída principalmente de gordura que ocasiona uma baixa degradabilidade por meio microrganismos (HIROTA et al., 2016).

A digestão anaeróbia é uma técnica para tratamento de efluentes e produção de bioenergia através da interação de fatores da microbiota e parâmetros do reator alimentado os efluentes orgânicos aplicados ao sistema (NESHAT et al., 2017). Nesse contexto, a codigestão anaeróbia se apresenta como um processo promissor na geração de biogás (ANJUM et al., 2017), já que é onde ocorre a digestão simultânea de dois ou mais substratos que promove elevação da estabilidade e eficiência do sistema (MARAGKAKI et al., 2017).

Para máximo aproveitando a codigestão anaeróbia é preciso a seleção de um cosubstrato adequado para o processo, já que uma escolha inadequada pode resultar em declínio significativo das taxas de degradação e produção de biogás, também se faz necessário estipular a mistura ideal dos substratos de modo a obter a otimização de um substrato com outro (ANJUM et al., 2017).

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi determinar as melhores proporções para a codigestão anaeróbia de lodo oriundo da indústria de arroz (inóculo) e efluente das indústrias de laticínios e de arroz parboilizado (substratos) por meio de delineamento experimental com arranjo fatorial 2³, quantificação de biogás, por meio uso de um sistema desenvolvido com base no deslocamento de fluidos, e análises de pH e Demanda Química de Oxigênio (DQO).

REVISÃO TEÓRICA

Indústrias de arroz parboilizado

O Brasil é um grande produtor e consumidor do arroz, com um consumo per capita em torno de 25 kg/ano, consolidando o grão como um grande setor da economia do país (QUEIROZ et al., 2007; SPINOSA et al., 2016). Cerca de 25% do arroz consumidos pelos brasileiros é do tipo parboilizado (PARAGINSKI et al., 2014), o beneficiamento do arroz parboilizado difere do arroz branco, pois após a retirada da casca e do farelo o grão é submetido a o encharcamento em tanques com água a 60°C por algumas horas e vaporização seguida de secagem. O ponto crítico da geração de efluentes ocorre justamente na etapa de encharcamento do grão, por utilizar um grande volume de água que retém propriedades do grão durante o banho (AMATO et al., 1989) Tal efluente se caracteriza por possuir alta carga orgânica e níveis significativos de nitrogênio e fósforo, a cada quilo de arroz parboilizado são gerados de 2 a 4 L de efluente (BASTOS et al., 2010; KUMAR et al., 2016; QUEIROZ et al., 2007; SANTOS et al., 2012).

O Brasil é um dos 10 maiores produtores de arroz do mundo, sendo que o estado do Rio Grande do Sul possui a maior representatividade interna do setor com 71,4% da produção nacional (IBGE, 2017; SPINOSA et al., 2016). Desse modo, de acordo com Nadaleti et al. (2018), o setor industrial brasileiro de arroz possui capacidade de promover a autossuficiência energética através de seu potencial de produção de energia.

Indústrias de laticínios

O Brasil possui a quinta maior produção de leite do mundo (RIO GRANDE DO SUL, 2018), tendo produzido cerca de 24 milhões de toneladas de leite e seus derivados no ano de 2017. O país é ainda um dos principais importadores mundiais, com previsão de crescimento de 1,8% para 2018 (FAO, 2017; USDA, 2017). De acordo com o Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, o estado é o segundo maior produtor dentro do cenário nacional, respondendo por 13% da produção.

Assim, o setor se apresenta como uma grande fonte de efluentes, o processamento de um litro de leite gera em torno de 2,5 litros de efluente (LEKSHMISREE et al., 2016) altamente poluidor. Seu potencial de poluição se dá por seu alto teor de matéria orgânica em sua composição, com cargas elevadas de proteínas, sólidos, substâncias gordurosas e lactose (CASTRO et al., 2017; HIROTA et al., 2016).

As características do efluente são majoritariamente favoráveis à utilização de processos biológicos em seu tratamento, uma vez que a maior parte da matéria orgânica (99%) presente nos efluentes de indústria de laticínios são biodegradáveis (CASTRO et al., 2017; KOTHARI et al., 2016), entretanto, a gordura presente em sua composição possui poder inibitório aos microrganismos, conseqüentemente, para a produção do biogás (GOLUNSKI et al., 2017; HIROTA et al., 2016).

Produção de biogás

O biogás é gerado por meio do processo de digestão anaeróbia, seu ciclo possui um sistema integrado entre o processo fisiológico do metabolismo microbiano e o energético (MAO et al., 2015). Qualquer tipo de

biomassa pode ser empregada como substrato para a produção da bioenergia, desde que contenham carboidratos, proteínas, gorduras, celulose e hemiceluloses em sua composição (GRANDO et al., 2017).

Os microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica e a produção do biogás possuem alta sensibilidade a variações nas condições operacionais aplicadas, ou seja, a instabilidade do sistema resulta em redução da produção de biogás (MAO et al., 2015). Assim, se torna essencial o comprimento dos parâmetros do processo, dentre eles está a temperatura, que deve ser mantida em torno de 35°C para maior rendimento da produção dos gases (THAKUR et al., 2016).

A remoção de matéria orgânica pode ser quantificada através da DQO, assim como o potencial de produção de metano, já que potencial de produção do gás é diretamente proporcional a remoção de DQO (METCALF et al., 2016). O biogás consiste em uma mistura gasosa composta majoritariamente de metano e dióxido de carbono gerados a partir de águas residuais, estrume, culturas e resíduos sólidos na fermentação anaeróbia com grande aplicabilidade energética, o uso de efluentes agroindustriais é um atrativo para o mercado brasileiro no que diz respeito a codigestão anaeróbia, uma vez que o aumento do setor agrícola gera grandes volumes de subprodutos com alto risco ambiental (GAIDA et al., 2017; PAZUCH et al., 2017).

A codigestão anaeróbia ocorre através do emprego de dois ou mais substratos simultaneamente e promove maior estabilidade do processo (MARAGKAKI et al., 2017). Assim, substratos que sozinhos não apresentem características favoráveis a degradação anaeróbia, se tornam viáveis ao processo, através da associação com outras fontes de matéria orgânica que possuam características complementares e/ou capazes de garantir a diluição dos compostos inibitórios (AGDAG et al., 2007).

Purificação e quantificação de biogás

O metano é o gás com maior teor na composição do biogás, com concentrações de 40 a 75%, seguido do dióxido de carbono (de 15 à 60%) e traços de sulfeto de hidrogênio, nitrogênio, siloxanos, água, hidrocarbonetos halogenados e monóxido de carbono (RYCKEBOSCH et al., 2011). O alto teor de metano é crucial para conversão do biogás em bioenergia, enquanto o alto teor de dióxido de carbono (CO₂) interfere negativamente, já que é inerte em termos de combustão, reduzindo o poder calorífico do biogás. Um dos métodos de purificação do biogás se dá por meio de sua lavagem em hidróxido de sódio (NaOH), capaz de promover a remoção de CO₂ (RAPOSO et al., 2011).

A quantificação de biogás em escala laboratorial vem sendo comumente realizada a partir da dinâmica do deslocamento de fluidos, já que apresenta baixo custo, simplicidade e confiabilidade para quantificar baixas taxas de fluxo (GIRARDI NETO, 2014; KONRAD et al., 2016; MARTÍNEZ-SIBAJA et al., 2011). A quantificação se dá por meio da utilização de vasos comunicantes à um frasco abastecido de líquido, onde a pressão do fluxo de gases desloca o líquido, assim o volume de líquido deslocado será o mesmo que o de biogás produzido (GIRARDI NETO, 2014).

MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema de quantificação de biogás foi elaborado a partir do princípio do deslocamento de fluidos, através de dois frascos comunicantes (Figura 1). O líquido utilizado para preencher o medidor, foi uma solução de NaOH à 5%, de modo a promover a lavagem do biogás através da dissolução do gás carbônico presente no mesmo. Foi adicionado indicador fenolftaleína no conjunto do medidor preenchido com NaOH, proporcionando uma coloração rosa ao hidróxido de sódio, tornando visível o momento de saturação do NaOH por CO₂:

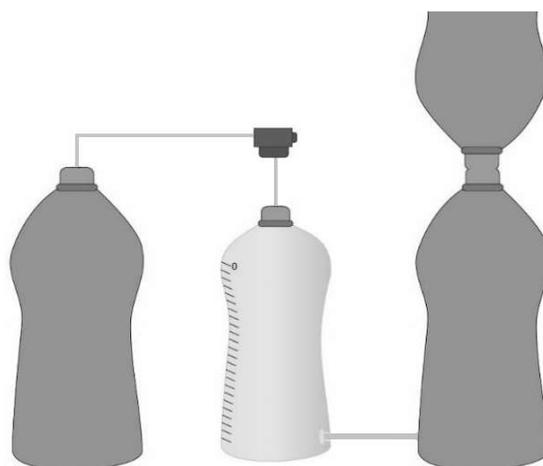


Figura 1: Biodigestor à esquerda e sistema de quantificação, frasco graduado ao centro e reservatório à direita. **Fonte:** Lourenço (2017).

Com um volume interno de 2,15dm³, os biodigestores foram elaborados por meio da reutilização de garrafas de Politereftalato de Etileno (PET), vedados com silicone acético incolor e envolvidos com folhas finas de alumínio, com saída apenas para o fluxo dos gases ao sistema de medição. Os volumes utilizados para alimentar os biodigestores, operados em batelada, foram obtidos através de um planejamento experimental 2³, resultando em oito pontos e um ponto central (PC), realizado em triplicata (Tabela 1):

Tabela 1: Alimentação dos Biodigestores.

Biodigestor	Efluente da Parboilização de Arroz		Efluente da Produção de Laticínios		Lodo da Parboilização de Arroz		Água Destilada	
	[%]	[dm ³]	[%]	[dm ³]	[%]	[dm ³]	[%]	[dm ³]
P1	40	0,680	10	0,170	20	0,340	30	0,510
P2	50	0,850	10	0,170	20	0,340	20	0,340
P3	40	0,680	20	0,340	20	0,340	20	0,340
P4	50	0,850	20	0,340	20	0,340	10	0,170
P5	40	0,680	10	0,170	30	0,510	20	0,340
P6	50	0,850	10	0,170	30	0,510	10	0,170
P7	40	0,680	20	0,340	30	0,510	10	0,170
P8	50	0,850	20	0,340	30	0,510	0	0,000
PC	45	0,765	15	0,255	25	0,425	15	0,255

O efluente e o lodo de arroz utilizados para alimentar os biodigestores foram fornecidos por uma indústria de arroz parboilizado localizada na cidade de Pelotas-RS, Brasil, já o efluente da produção de laticínios foi fornecido por uma indústria de laticínios, situada no mesmo município. Os substratos e o inóculo

foram retirados do UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*) das Estações de Tratamento de Efluente das indústrias.

Durante a execução do experimento, os biodigestores foram acomodados em banhos de aquecimento com termostato, à 35°C, durante um período de 252 horas. As medições da produção de biogás foram realizadas ao fim das primeiras 12 horas e posteriormente em intervalos de 24 horas, zerando-se o medidor a cada intervalo. As análises de DQO e pH foram realizadas no Laboratório de Análise de Águas e Efluentes do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas, de acordo com *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater* (APHA, 2005).

RESULTADOS

Através dos gráficos presentes nas Figuras 2, 3 e 4 é possível observar a produção de metano nas primeiras 12 horas de experimentos e nos intervalos de 24 horas seguintes nos quais foram realizadas as quantificações da produção de biogás e cada sistema. No gráfico da Figura 5 pode ser observado as produções totais de metano ao fim das 252 horas de experimento. Os resultados das análises laboratoriais realizadas nesse estudo, DQO e pH, constam na Tabela 2 e na Figura 6, respectivamente.

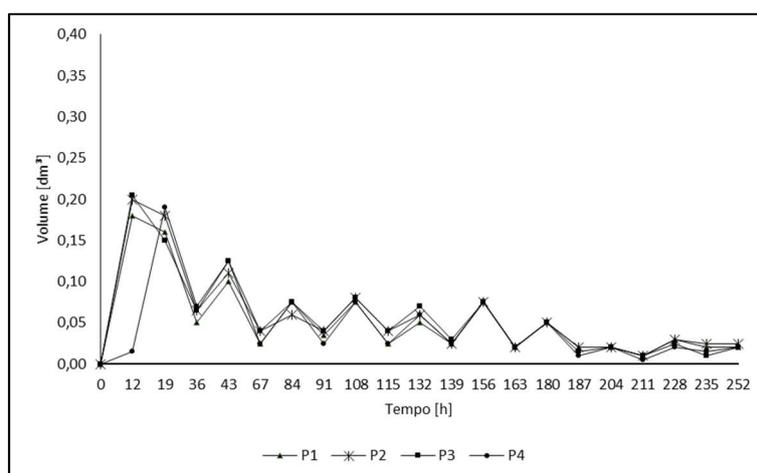


Figura 2: Gráfico da produção de metano nos biodigestores P1, P2, P3 e P4.

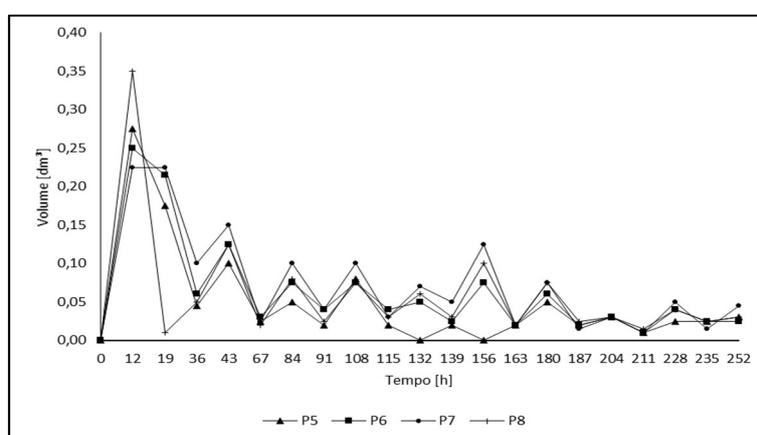


Figura 3: Gráfico da produção de metano nos biodigestores P5, P6, P7 e P8.

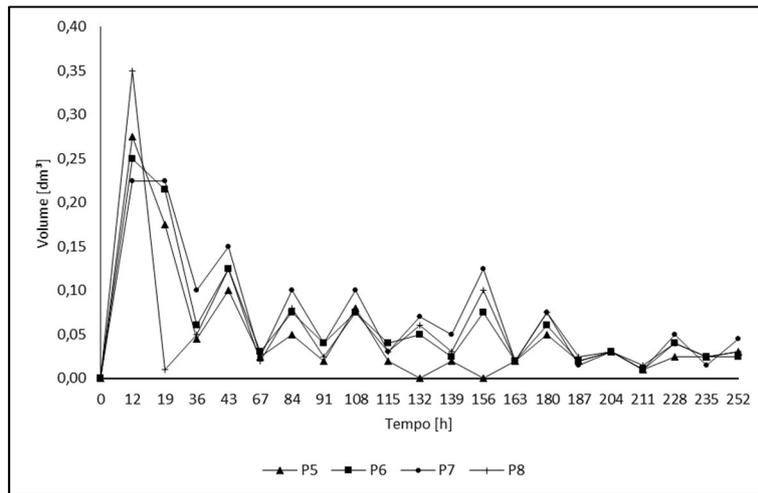


Figura 4: Gráfico da produção de metano nos biodigestores do ponto central.

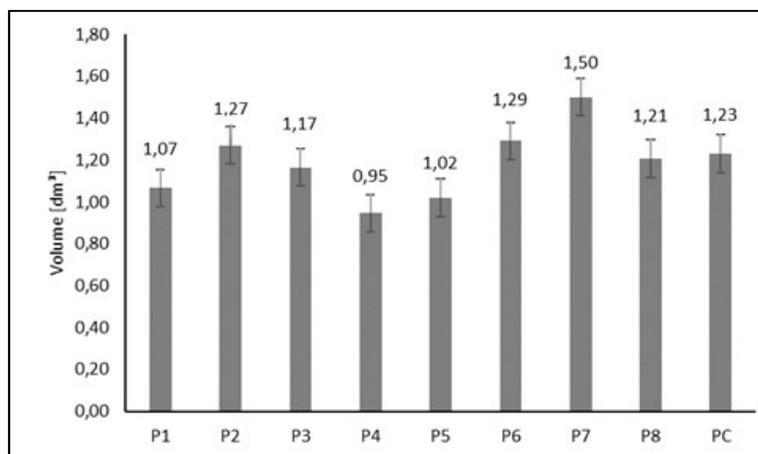


Figura 5: Gráfico da produção total de metano nos biodigestores.

Tabela 2: Resultados das Análises de DQO.

Biodigestor	Entrada [mg/L]	Saída [mg/L]	Remoção [mg/L]
P1	1333,33	744,19	589,14
P2	1600,00	992,25	607,75
P3	1466,67	868,22	598,45
P4	1600,00	878,54	721,47
P5	1802,22	1019,76	782,46
P6	1486,83	382,42	1104,41
P7	1599,47	372,09	1227,38
P8	1824,75	764,82	1059,93
PC	2000,33±116,42	1157,62±71,61	842,71±107,54

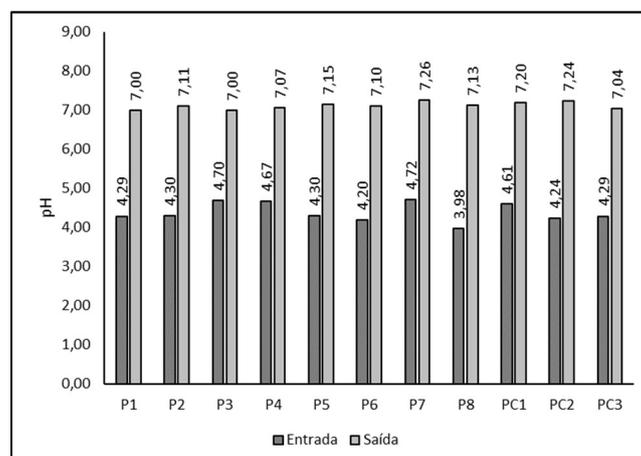


Figura 6: pH das amostras de entrada e saída dos biodigestores.

DISCUSSÃO

Nas Figuras 1, 2 e 3 é possível observar que os biodigestores apresentaram comportamento semelhantes quanto à produção do gás, o pico de cada reator ocorreu entre 12 e 19 horas de experimento e a partir de 67 horas de atividade todos apresentaram estabilização da geração de metano seguido de queda de produção por volta de 163 horas.

O pico de produção nas primeiras 12 horas se dá, de acordo com a literatura, devido ao uso de inóculo do sistema, já que o mesmo garante a antecipação da partida inicial na produção de biogás e do pico de produção, possibilitando ainda a elevação do potencial de produção de biogás da biomassa (CERRILLO et al., 2017; LIU et al., 2017).

O ponto central, realizado em triplicata, apresentou um desvio padrão de $0,09 \text{ dm}^3$ tendo sido este adotado como erro do sistema de quantificação (Figura 5), resultando em um coeficiente de variação de 7,35%. De acordo com os resultados apresentados na Figura 5, o biodigestor P7 apresentou uma maior produção de metano, com $1,5 \text{ dm}^3$, seguido do ponto P6, com $1,29 \text{ dm}^3$. O ponto P7 recebeu, dentro do delineamento experimental, alimentação máxima de inóculo e efluente de laticínios 20% e 30%, respectivamente, e 40% de efluente da parboilização de arroz.

O biodigestor P4 foi o responsável pela menor produção, tendo tido uma alimentação de 50% de efluente de arroz e 20% de efluente de laticínios e lodo. Entretanto, ao considerar o erro referente ao sistema de quantificação do gás, as produções dos biodigestores P1, P2, P3, P4 e P5 não possuem diferença significativa. O mesmo ocorre com P6, P8 e PC.

A diferença nas produções pode ser consequência da alta carga orgânica proporcionada pelo efluente de arroz, característico no resultado da DQO de todos os biodigestores que receberam maior carga do efluente e baixo volume de inóculo de P1, P2, P3 e P4, quando comparado com P7, causando saturação de matéria orgânica no meio em relação ao potencial de biodegradabilidade do inóculo, inibindo a ação dos microrganismos.

Os processos anaeróbios de tratamento relacionam diretamente a remoção de DQO com a produção de metano (METCALF et al., 2016), sendo assim, espera-se que os biodigestores que removeram maiores cargas de DQO sejam os mesmos que produziram maiores volumes de metano, o que se validou na maioria dos biodigestores analisados neste trabalho (Tabela 2).

As maiores taxas de remoção ocorreram nos pontos P7 e P6, com remoção de 76,74% e 74,28%. Em estudo realizado por Al-Malack et al. (2016) durante 72 dias em reator com volume útil de 20 dm^3 , a digestão anaeróbia de efluente oriundo da indústria de laticínios gerou em seu melhor desempenho $1,6 \text{ dm}^3$ por dia de biogás, removendo 55,80% de DQO. Já Peixoto et al. (2012) operou por 224 h, à $25,0 \pm 0,9 \text{ }^\circ\text{C}$, processo fermentativo para tratamento de efluente da produção de arroz, alcançando uma remoção de 63,91%, em um reator com capacidade para 1 dm^3 de líquido e 1 dm^3 de *headspace*. Nadaleti et al. (2018), obtiveram uma produção de $5,198 \text{ dm}^3$ de biogás através da biodigestão anaeróbia de efluente e lodo da parboilização do arroz, em biodigestores semelhantes aos utilizados neste estudo operados à 35°C por 276 horas.

Sobre às análises de pH de entrada e saída, todos os processos apresentaram comportamento semelhante, acidez em suas amostras de entrada, em torno de 4,0, e neutralidade em suas saídas (Figura 6). Segundo Khalid et al. (2011), o pH ideal para o desenvolvimento de bactérias metanogênicas se encontra na neutralidade, sendo assim o pH pode ter causado interferências negativas na produção de biogás.

CONCLUSÕES

Determinou-se que a melhor proporção dos substratos e inóculo para a produção de metano via codigestão ocorreu, nesse estudo, na alimentação com 40% e 20% de efluente da indústria de arroz parboilizado e do efluente da produção de laticínios, respectivamente, e 30% do lodo da indústria de arroz. O processo de codigestão anaeróbia se mostrou eficaz na neutralização do pH e na remoção de DQO, com remoções de até 76,74%. Ademais, o sistema de quantificação de gases utilizado no estudo demonstrou grande eficácia, com desvio padrão de 0,9 dm³ e coeficiente de variação de 7,35%.

REFERÊNCIAS

AGDAG, O.; SPONZA, D.. Co-digestion of mixed industrial sludge with municipal solid wastes in anaerobic simulated landfilling bioreactors. **Journal of Hazardous Materials**, v.140, n.1-2, p.75-85, 2007. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.06.059>

AL-MALACK, M. H.; ALDANA, G. R.. Performance of anaerobic immersed membrane bioreactor (AnIMBR) treating synthetic dairy wastewater. **Desalination and Water Treatment**, v.57, n.46, p.22200-22211, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1080/19443994.2015.1129514>

AMATO, G. W.. **Arroz no programa mundial de alimentação das Nações Unidas**. 2 ed. Porto Alegre: Instituto Rio Grandense do Arroz, 2017.

AMATO, G. W.; BITTENCOURT, D. M.; GUINDANI, A. C.. Parboilização do arroz parâmetros de encharcamento. Porto Alegre: CIENTEC. **Boletim Técnico**, v.19, p.120, 1989.

APHA. American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater: Method 5220-C**, 2005; **Introduction 4500-N A**, 2005.

ANJUM, M.; KHALID, A.; QADEER, S.; MIANDAD, R.. Synergistic effect of co-digestion to enhance anaerobic degradation of catering waste and orange peel for biogas production. **Waste Management & Research**, v.35, n.9, p.967-977, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1177/0734242X17715904>

BASTOS, R. G.; SEVERO, M.; VOLPATO, G.; JACOB-LOPES, E.; ZEPKA, L. Q.; QUEIROZ, M. I.. Bioconversão do nitrogênio do efluente da parboilização do arroz por incorporação em biomassa da cianobactéria *Aphanothece microscópica* Nägeli. **Revista Ambiente e Água**, v.5, n.3, 2010. DOI: <http://doi.org/10.1155/2012/490647>

CASTRO, G. M.; SCHWANTES, D.; JUNIOR, A. C. G.; RICHART, A.; VEIGA, T. G.; ROSENVERGER, A. G.. Treatment of dairy effluents in wetlands systems with floating aquatic

macrophytes. **Revista de Ciências Ambientais**, v.11, n.2, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.18316/rca.v11i2.2765>

CERRILLO, M.; VIÑAS, M.; BONMATÍ, A.. Start-up of electromethanogenic microbial electrolysis cells with two different biomass inocula for biogas upgrading. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v.5, n.10, p.8852-8859, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b01636>

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: v.4: SAFRA 2016/17: n.11: Décimo primeiro levantamento**. Brasília: CONAB, 2017.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Dairy Market Review: Milk production trends in 2017**. 2018.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Milk and Milk Products: Price and Trade Update**. 2017.

GAIDA, D.; WOLF, C.; BONGARDS, M.. Feed control of anaerobic digestion processes for renewable energy production: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.68, p.869-875, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.096>

GIRARDI NETO, J.; SANTOS, V. G.; ANDREGUETTO, L. G.; LANGE, G. H.; SILVA, J. D.; VALLE, J. A. B.; PINHEIRO, I. G.. Quantificação de Biogás em Reatores Anaeróbios através do Método de Deslocamento de Volume de Água. **Revista de estudos ambientais (online)**, v.16, n.1, p.45-53, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.7867/1983-1501.2014v16n1p45-53>

GOLUNSKI, S. M.; MULINARI, J.; CAMARGO, A. F.; VENTURIN, B.; BALDISSARELLI, D. P.; MARQUES, C. T.; VARGAS, G. D. L. P.; COLLA, L. M.; MOSSI, A.; TREICHEL, H.. Ultrasound effects on the activity of *Aspergillus Niger* lipases in their application in dairy wastewater treatment. **Environ QualManage**, v.27,

n.1, p.95-101, 2017. DOI:

<http://doi.org/10.1002/tqem.21508>

GRANDO, R. L.; ANTUNE, A. M. S.; FONSEXA, F. V.; SÁNCHEZ, A.; BARRENA, R.; FONT, X.. Technology overview of biogas production in anaerobic digestion plants: A European evaluation of research and development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.80, p.44-53, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.079>

HIROTA, K.; YOKATA, Y.; SEKIMURA, T.; UCHIUMI, H.; GUO, Y.; OHTA, H.; YUMOTO, I.. Bacterial communities in different locations, seasons and segments of a dairy wastewater treatment system consisting of six segments. **Journal of Environmental Sciences**, v.36, p.109-115, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jes.2015.09.025>

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**: Pesquisa Mensal de Previsão e Acompanhamento das Safras Agrícolas no Ano Civil. Rio de Janeiro, 2017.

KHALID, A.; ARSHAD, M.; ANJUM, M.; MAHMOOD, T.; DAWSON, L.. The anaerobic digestion of solid organic waste. **Waste Management**, v.31, p.1737-1744, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.03.021>

KONRAD, O.; BEZAMA, A. B.; PRADE, T. BACKES, G. M.; OECHSNER, H.. Enhancing the analytical capacity for biogas development in Brazil: assessment of an original measurement system for low biogas flow rates out of agricultural biomass residues. **Eng. Agríc.**, v.36, n.5, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n5p792-798/2016>

KOTHARI, R.; KUMAR, V.; PATHAK, V. V.; TYAGI, V. V.. Sequential hydrogen and methane production with simultaneous treatment of dairy industry wastewater: Bioenergy profit approach. **International Journal of Hydrogen Energy**, v.42, n.8, p.4870-4879, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.11.163>

KUMAR, A.; PRIYADARSHINEE, R.; ROY, A.; DASGUPTA, D.; MANDAL, T.. Current techniques in rice mill effluent treatment: Emerging opportunities for waste reuse and waste-to-energy conversion. **Chemosphere**, v.164, p.404-412, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.118>

LEKSHMISREE, A. S.; VIJAYAN, N.. Treatment of Dairy Industry Waste Water Using Fungal Consortium. **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**, v.3, n.8, p.1924-1929, 2016.

LIU, T.; SUN, L.; SCÜNURER, B. M. A.. Importance of inoculum source and initial community structure for biogas production from agricultural substrates. **Bioresource Technology**, v.245, p.768-777, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.213>

LOURENÇO, V. A.. **Produção de biogás via co-digestão anaeróbia de efluente da parboilização do arroz e resíduos sólidos orgânicos**. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

MAO, C.; FENG, Y.; WANG, X.; REN, G.. Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion.

Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.45, p.540–555, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.032>

MARAGKAKI, A. E.; FOUNTOULAKIS, M.; GYPAKIS, A.; KYRIAKOU, A.; LASARIDI, K. M.. Pilot-scale anaerobic co-digestion of sewage sludge with agro-industrial by-products for increased biogas production of existing digesters at wastewater treatment plants. **Waste Management**, v.59, p.362-370, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.043>

MARTÍNEZ-SIBAJA, A.; ALVARADO-LASSMAN, A.; ASTORGA-ZARAGOZA, C. M.; ADAM-MEDINA, M.; POSADA-GÓMEZ, R.; RODRÍGUEZ-JARQUIN, J. P.. Volumetric gas meter for laboratory-scale anaerobic bioreactors. **Measurement**, v.44, p.1801-1805, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.measurement.2011.08.018>

METCALF, L.; EDDY, H. P.. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. Brasília: McGraw Hill Brasil, 2016.

NADALETI, W. C.; LOURENÇO, V. A.; SCHOELER, G. P.; AFONSO, M.; SANTOS, R. F.; VIEIRA, B. M.; LEANDRO, D.; QUADRO, M. S.. Temperaturas mesófilas e termófilas na produção de Biogás através de efluente da parboilização do arroz. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v.5, n.1, p.17-21, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.15210/rbes.v5i1.12540>

NADALETI, W. C.; PRZYBYLA, G.. Emissions and performance of a spark-ignition gas engine generator operating with hydrogen-rich syngas, methane and biogas blends for application in southern Brazilian rice industries. **Energy**, v.154, p.38-51, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.046>

NESHAT, S. A.; MOHAMMADI, M.; NAJAFPOUR, G. D.; LAHIJANI, P.. Anaerobic co-digestion of animal manures and lignocellulosic residues as a potent approach for sustainable biogas production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.79, p.308-322, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.137>

PARAGINSKI, R. T.; ZIEGLERM, V.; TALHAMENTO, A.; ELIAS, M. C.. Propriedades tecnológicas e de cocção em grãos de arroz condicionados em diferentes temperaturas antes da parboilização. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.17, n.2, p.146-453, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/bjft.2014.021>

PAZUCH, F. A.; SIQUEIRA, J.; FRIEDRICH, L.; LENZ, A. M.; NOGUEIRA, C. E. C.; SOUZA, S. N. M.. Co-digestion of crude glycerin associated with cattle manure in biogas production in the State of Paraná, Brazil. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v.39, n.2, p.149-159, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v39i2.29167>

PEIXOTO, G.; PANJOTA FILHO, J. L. R.; AGNELLI, J. A. B.; BARBOZA, M.; ZAIAT, M.. Hydrogen and Methane Production, Energy Recovery, and Organic Matter Removal from Effluents in a Two-Stage Fermentative Process. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v.168, n.3, p.651–671, 2012.

QUEIROZ, M. I.; LOPES, E. J.; ZEPKA, L. Q.; BASTOS, R. G.; GOLDBECK, R.. The kinetics of the removal of nitrogen and organic matter from parboiled rice effluent by cyanobacteria in a stirred batch reactor. **Bioresource Technology**, v.98, p.2163-2169, 2007. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.08.034>

RAPOSO, F.; FERNÁNDEZ-CEGRÍ, V.; RUBIA, M. A.; BORJA, R.; BÉLINE, F.; CAVINATO, C.; DEMIRER, G.; FERNÁNDEZ, B.; FERNÁNDEZ-POLANCO, M.; FRIGON, J. C.; GANESH, R. KAPARAJU, P.; KOUBOVA, J.; MÉNDEZ, R.; MNIN, G.; PEENE, A.; SCHERER, P.; TORRIJOS, M.; UELLEND AHL, H.; WIERINCK, I; WILDE, V.. Biochemical methane potential (BMP) of solid organic substrates: evaluation of anaerobic biodegradability using data from an international interlaboratory study. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v.86, n.8, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1002/jctb.2622>

RYCKEBOSCH, E.; DROUILLON, M.; VERVAEREN, H.. Techniques for transformation of biogas to biomethane. **Biomass and Bioenergy**, v.35; p.1633-1645, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.033>

SANTOS, D. G.; TURNES, C. G.; CONCEIÇÃO, F. R.. Bioremediation of Parboiled Rice Effluent Supplemented

with Biodiesel-Derived Glycerol Using *Pichia pastoris* X-33. **Scientific World Journal**, v.2012, 2012. DOI: <http://doi.org/10.1100/2012/492925>

SPINOSA, W. A.; JÚNIOR, V. S.; GALVAN, D.; FIORIO, J. L.; GOMEZ, R. J. H. C.. Syrup production via enzymatic conversion of a byproduct (broken rice) from rice industry. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v.38, n.1, p.13-22, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v38i1.26700>

STATISTA. The Statista Portal. **Agriculture**: Quantity of rice produced in Brazil from 2010 to 2017. 2018.

THAKUR, A. B.; RIKTA, S. Y.; EASHA, N. J.; SIDDIK, M. A. B.; UDDIN, M. K.. Physicochemical Composition of the Household Solid Waste and Prospect for Biogas Production. **J. Environ. Sci. & Natural Resources**, Bangladesh, v.9, n.2, p.151-154, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.3329/jesnr.v9i2.32186>

USDA. United States Department of Agriculture: Foreign Agricultural Service. **Brazil Dairy and Products Annual**: Annual Dairy Report. 2017.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.