



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE EFLUENTES INDUSTRIAIS PARA A PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Willian Cezar Nadaleti – williancezarnadaleti@gmail.com
Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias.
Rua Benjamin Constant, nº 989.
96010-020 – Pelotas – Rio Grande do Sul.

Vitor Alves Lourenço – vitor.a.lourenco@gmail.com
Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias.

Guilherme Pereira Schoeler – guilherme.schoeler@gmail.com
Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias.

Marcela Afonso – marcelamafonso@yahoo.com.br
Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias.

Maurício Silveira Quadro – mausq@hotmail.com
Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias.

Resumo: O arroz consolida-se como um importante produto nacional, tanto pela sua participação na economia quanto na dieta dos brasileiros. No entanto, o processamento do arroz parboilizado gera de 2 a 4 litros de efluentes por quilo de arroz beneficiado com elevada concentração de compostos orgânicos, nitrogênio e fósforo. Outro setor de importante destaque no Brasil, a indústria de laticínios, é responsável pela geração de cerca de 2,5 litros de efluente para cada litro de leite produzido, com uma carga altamente poluidora, elevada concentração de sólidos e gorduras. Assim, a técnica de digestão e co-digestão anaeróbia apresenta-se como uma alternativa para o tratamento de efluentes e a geração de bioenergia. A finalidade deste trabalho foi comparar a eficiência da digestão e co-digestão anaeróbia destes efluentes com base na quantificação de biogás e análises de DQO e pH. Os biodigestores, de volume total de 2,15dm³, operaram em batelada a 35°C por 276 horas. O sistema com efluente de arroz apresentou o melhor desempenho na produção de biogás, seguido da co-digestão e da digestão do efluente de leite. Para a eficiência na remoção de DQO, a digestão de efluente de arroz obteve maior desempenho com cerca de 87,4% de remoção. Quanto ao pH, todos os sistemas apresentaram tendência a neutralidade.

Palavras-chave: Efluente, Arroz, Leite, Digestão, Biodigestor

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF ANAEROBIC CO-DIGESTION OF INDUSTRIAL WASTEWATER FOR THE PRODUCTION OF BIOGAS

Abstract: Rice consolidates as an important national product, both for its participation in the economy and in the diet of Brazilians. However, the processing of parboiled rice generates around 2 to 4 litres of wastewater per kilogram of rice benefited with a high concentration of organic, nitrogen and phosphorus. Another important sector in Brazil, the dairy industry, is responsible for the generation of about 2.5 litres of wastewater for each litre of milk produced, with a highly polluting

Realização

 ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

load, a high concentration of solids and fats. Thus, the technique of digestion and anaerobic co-digestion is presented as an alternative for the treatment of wastewater and the generation of bioenergy. The purpose of this work was to compare the digestion efficiency and anaerobic co-digestion of these wastewaters based on biogas quantification and COD and pH analyzes. The biodigesters, with a total volume of 2.15dm³, operated in batch at 35 ° C for 276 hours. The system with rice wastewater had the best performance in biogas production, followed by co-digestion and digestion of the milk wastewater. For the COD removal efficiency, the rice digestion obtained a higher performance with about 87.4% removal. As for pH, all systems tended to be neutral.

Keywords: Wastewater, Rice, Milk, Digestion, Biodigester

1. INTRODUÇÃO

Além de ser um dos constituintes básicos da dieta brasileira, o arroz consolida-se como um importante componente da economia nacional (QUEIROZ et al., 2007). Segundo o *The Statista Portal*, o país fechou 2017 com cerca de 12,3 milhões de toneladas de arroz produzidos (STATISTA, 2018), dado que coloca o Brasil entre os 10 maiores produtores de arroz no mundo (SPINOSA et al., 2016; QUEIROZ et al., 2007) considerando estimativas de uma produção para 2018 de cerca de 11,2 milhões de toneladas (CONAB, 2018).

A grande demanda populacional e de mercado, acarretaram no crescimento do setor industrial de processamento de arroz e, conseqüentemente, na geração de um grande volume de efluentes potencialmente poluidores (KUMAR et al., 2016). O processo de parboilização do arroz, um dos mais importantes processos de melhoria do grão, ocorre através de operações unitárias que garantem um arroz polido, redução de grãos partidos, maior durabilidade e riqueza de vitaminas e minerais (AMATO, 2017; QUEIROZ et al., 2007).

A parboilização de arroz gera em de 2 a 4 litros de efluente por quilo de arroz beneficiado, resultando em pelo menos 504 bilhões de litros por ano (BASTOS, 2010; SANTOS et al., 2012). Sendo este efluente caracterizado principalmente por conter altas cargas de substâncias orgânicas e nutrientes como nitrogênio e fósforo (FARIA, 2006; QUEIROZ et al., 2007).

A disponibilidade de nutrientes nitrogenados associado ao fósforo, estimula o crescimento de organismos fotossintetizadores acarretando no processo de eutrofização em corpos hídricos (FARIA et al., 2006; OKUNUKI et al., 2004). Ainda, segundo Gerber et al. (2016), o efluente bruto da indústria de arroz parboilizado apresenta alta toxicidade podendo provocar efeitos negativos na fertilidade de peixes, devido à elevadas taxas de fósforo, sólidos suspensos totais, salinidade e ferro.

Outro importante ramo da agroindústria nacional é a dos laticínios, com uma produção de cerca de 24 milhões de toneladas de leite e seus derivados no ano de 2017, o Brasil é um dos principais importadores no cenário mundial com previsões de crescimento de 1,8% neste setor para 2018 (FAO, 2017; USDA, 2017). Tais dados colocam o setor como um grande gerador de águas residuárias, já que o processamento do leite resulta em cerca de 2,5 litros de efluente por litro produzido (LEKSHMISREE & VIJAYAN, 2016).

O efluente gerado é altamente poluidor, principalmente por sua alta concentração de matéria orgânica, com elevadas cargas de proteínas, sólidos, substâncias gordurosas e lactose. O lançamento do efluente bruto pode desencadear uma redução da qualidade dos corpos hídricos através de eutrofização, formação de condições anaeróbias e mortalidade de peixes (CASTRO et al., 2017; HIROTA et al., 2016).

Uma técnica utilizada para auxiliar no tratamento dos efluentes citados é a digestão anaeróbia (DA), que através da interação da microbiota e condições físico químicas e ambientais controladas promove ainda a produção de bioenergia (NESHAT et al., 2017; QUEIROZ et al., 2007). Nesse contexto, a co-digestão anaeróbia (CDA) se apresenta como um processo promissor uma

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

vez que eleva a estabilidade e eficiência do sistema por meio da digestão simultânea de dois ou mais substratos, aumentando o volume de biogás produzido no processo (MARAGKAKI et al., 2017).

De acordo com Nadaleti e Przybyla (2018), o potencial de produção de energia com efluentes e outros resíduos de indústrias de parboilização de arroz no Brasil é alto e capaz de promover a autossuficiência energética deste setor alimentício, a fim de reduzir a necessidade de compra de energia elétrica das concessionárias locais, além da possibilidade de redução das emissões de poluentes.

Nesse sentido, a finalidade deste trabalho foi comparar a eficiência da digestão anaeróbia de efluente de indústria de parboilização do arroz, do efluente da produção de laticínios e a co-digestão dos dois substratos, utilizando como base a quantificação de biogás e análises de DQO e pH.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os biodigestores, volume interno de 2,15dm³, 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 transporte dos gases até o medidor.

Os medidores utilizados para quantificar a produção de biogás foram elaborados a partir do princípio do deslocamento de líquidos, seu sistema constituiu-se em dois frascos comunicantes, onde um dos frascos foi conectado à parte superior do biodigestor. Cada medidor e seu respectivo reator recebeu em sua conexão um divisor de ar que quando aberto garante o escape do gás para atmosfera, fazendo com que o líquido retorne a sua marca inicial, zerando o medidor. Os medidores receberam uma fina camada de óleo de soja acima da água de modo a evitar dissolução do CO₂ contido no biogás na água.

Os biodigestores foram operados em batelada com uma temperatura interna de 35°C por 276 horas e receberam como inóculo 0,3dm³ de lodo oriundo da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de arroz parboilizado localizada na cidade de Pelotas-RS, assim como o efluente de arroz utilizado como um dos substratos. O segundo substrato foi fornecido por uma indústria de laticínios situada no mesmo município. Tanto o inóculo quanto os substratos foram coletados de Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente (RAFA).

Os processos foram executados em triplicatas, onde uma delas foi alimentada com 1,4dm³ de efluente da indústria de arroz parboilizado, outra com 1,4dm³ de efluente da indústria de leite e a última com 0,7dm³ de cada água residuária (Figura 1). Os volumes não preenchidos dos biodigestores funcionaram como headspace para armazenamento do gás gerado:

Figura 1 – Alimentação dos biodigestores.

Realização

ABES-RS

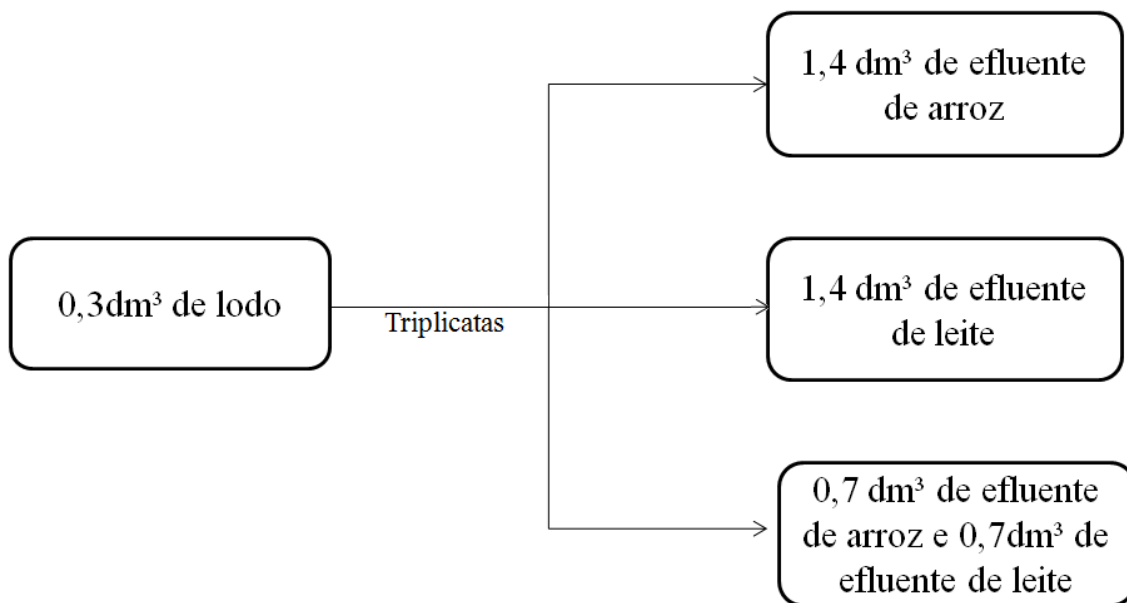


Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



Durante a execução do experimento, as medições foram realizadas diariamente em dois horários distintos, às 10h e às 17h, 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).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante as primeiras 12 horas de experimento o processo de co-digestão (CD) apresentou produção superior quando comparada à técnica de digestão anaeróbia (DA) (Figura 2), com um volume de 0,242dm³ de biogás gerado. Porém, após 36 horas a produção do gás passou a apresentar estabilização. Em contrapartida, a digestão de efluente de arroz manteve sua produção em alta até 108 horas e ainda assim, mesmo após seu decaimento, continuou apresentando geração superior em relação às demais:

Realização



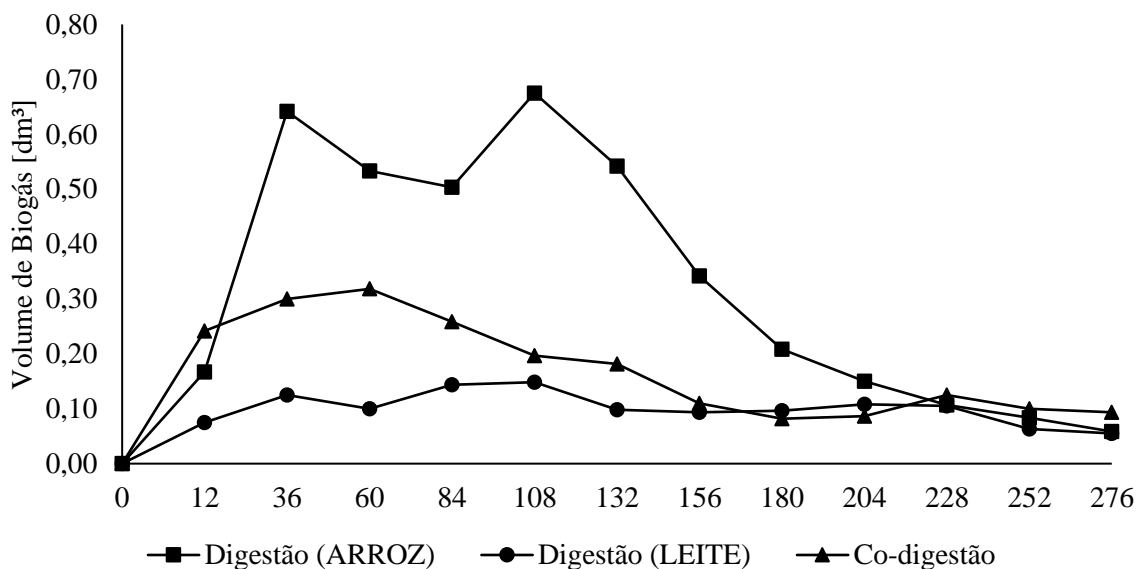
Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375

Figura 2 – Gráfico do volume de biogás produzido nos biodigestores.



Ao fim das 276 horas, a digestão do efluente de arroz apresentou um volume total de 4,010dm³ de biogás gerado. Seguido da co-digestão e da digestão do efluente de leite, com produções de 2,093dm³ e 1,212dm³, respectivamente.

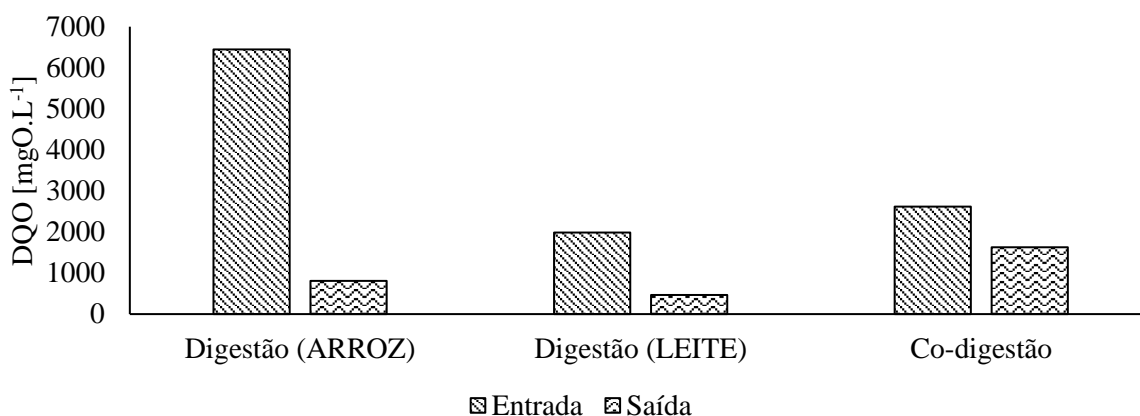
Efluentes com propriedades dinâmicas pouco favoráveis ao serem associados a outros substratos podem ser mais facilmente degradados pelo processo de digestão anaeróbia (BRAUN & WELLINGER, 2002). Considerando que parte da matéria orgânica do efluente de laticínios é constituída de gordura, que dificulta sua degradabilidade por microorganismos (HIROTA et al., 2016), compreende-se o porquê de a co-digestão ter sido eficiente para elevar a produção do biogás quando comparada a digestão apenas do efluente de laticínios.

No entanto a co-digestão não proporcionou resultados superiores à digestão do efluente de arroz, de acordo com García-Gen et al. (2015) para máximo rendimento da co-digestão anaeróbia é necessário estipular a mistura ideal dos substratos que forneça condições ideais à digestão anaeróbia.

No que diz respeito às análises de DQO os substratos apresentaram uma entrada de 6447,45mg/L, na digestão do efluente de arroz, 1984,50mg/L, na digestão do efluente de leite, e 2614,89mg/L, na co-digestão. Tais resultados podem justificar as diferenças dos volumes de biogás gerados, já que a DQO é comumente utilizada para estimar a matéria biodegradável convertida em biogás (NETO et al., 2017).

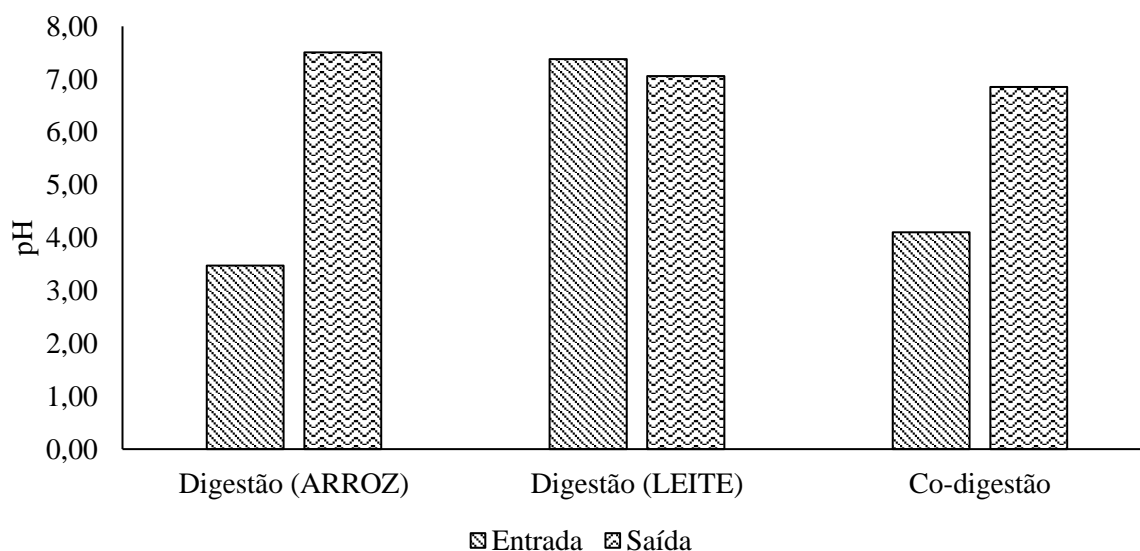
É possível observar na Figura 3, que os processos de digestão apresentaram uma remoção de DQO superiores ao processo de co-digestão, que obteve remoção de apenas 37,87% contra remoção de 76,43% da digestão de efluente de leite e 87,43% da digestão de efluente de arroz. Segundo Sgorlon et al. (2011) quanto maior a eficiência de remoção de DQO de um sistema, maior será a degradação dos substratos empregados no processo:

Figura 3 – Resultados das análises da DQO de entrada e saída dos biodigestores.



Sobre o comportamento do pH dos substratos após o processo, é possível afirmar que em todos os casos ocorreu uma tendência à sua neutralização (Figura 4). Apesar de os valores de pH que tangem a neutralidade serem indicados para a produção de biogás tal fator não acarretou em uma baixa eficiência dos sistemas com pH de entrada abaixo do recomendado (WEILAND, 2010):

Figura 4 – Resultados das análises do pH de entrada e saída dos biodigestores.



O pH neutro é o mais favorável para a produção de biogás, já que a maioria das bactérias metanogênicas crescem na faixa de pH 6,7 - 7,5 (MANONMANI et al., 2017), o que reafirma a interferência da gordura na produção do gás na digestão do efluente de leite, já que foi o único sistema a apresentar pH de entrada neutro.

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos no trabalho, a co-digestão se mostrou eficiente quanto à proporcionar uma melhoria no processo de biodigestão anaeróbia do efluente da indústria de laticínios, através da diluição de seus compostos inibidores, como a gordura, por meio de sua mistura

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

ao efluente da indústria de arroz parboilizado. Ao comparar os métodos observa-se um acréscimo de 72,69% na produção de biogás quando aplicada a co-digestão.

Porém, é importante salientar que a digestão do efluente da indústria de arroz parboilizado apresentou maior eficiência na produção de biogás do que a co-digestão. Sendo assim, recomenda-se o estudo de diferentes proporções do substrato para máximo rendimento da co-digestão anaeróbia e maior eficiência na produção de biogás.

REFERÊNCIAS

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

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA) & WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Introduction 4500-N A, p.4-103, 2005.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA) & WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Method 5220-C, p.5-16, 2005.

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 microscopica* Nägeli. **Revista Ambiente e Água**, v.5, n.3, 2010.

BRAUN, R.; WELLINGER, A. **Potential of Co-Digestion**. IEA Bioenergy, Task 37 – Energy from biogas and landfill gas, 2002.

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.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: V. 5 - SAFRA 2017/18 - N. 6 - Sexto levantamento. Brasília: Conab. 2018.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Milk and Milk Products: Price and Trade Update**. 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i8326e.pdf>>. Acesso em 29 março 2018.

FARIA, O. L. V.; KOETZ, P. R.; SANTOS, M. S.; NUNES, W. A. Remoção de fósforo de efluentes da parboilização de arroz por absorção biológica estimulada em reator em batelada sequencial (RBS). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, n.2, p.309-317, 2006.

GARCÍA-GEN, S. RODRÍGUEZ, J. LEMA, J. M. Control strategy for maximum anaerobic co-digestion performance. **Water Research**, v.80, p.209-216, 2015.

GERBER, M. D.; JUNIOR, A. S. V.; CALDAS, J. S.; CORCINI, C. D.; JR LUCIA, T. CORRÊA, L. B.; CORRÊA, É. K. Toxicity evaluation of parboiled rice effluent using sperm quality of zebrafish as bioindicator. **Ecological Indicators**, v.61, n.2, p.214-218, 2016.

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

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.

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.

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.

MANONMANI, P.; MUAZU, L.; KAMARAJ, M. C.; GOEL, M.; ELANGOMATHAVAN, R. Biogas production potential of food waste. **International Journal of Environment Agriculture and Biotechnology**, v. 2, n. 2, p. 707-711, 2017.

MARAGKAKI, A. E. FOUNTOULAKIS, M. GYPAKIS, A. KYRIAKOU, A. LASARIDI, K. MANIOS. 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.

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.

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.

NETO, J. G.; SILVA, J. D.; PINHEIRO, I. G. Balanço de massa no tratamento de resíduos sólidos orgânicos provenientes de restaurantes em biorreator. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 3, 2017.

OKUNUKI, S; KAWAHARASAKIB, M.; TANAKAA, H.; KANAGAWAB, T. Changes in phosphorus removing performance and bacterial community structure in an enhanced biological phosphorus removal reactor. **Water Research**, v. 38, n. 9, p. 2.433-2.439, 2004.

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.

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**, 2012. Disponível em:<<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3417191/#B1>>. Acesso em 29 março 2018.

SGORLON, J. G.; RIZK, M. C.; BERGAMASCO, R.; TAVARES, C. R. G. Avaliação da DQO e da relação C/N obtidas no tratamento anaeróbio de resíduos fruti-hortícolas. **Acta Scientiarum Technology**, v.33, n.4, p.421-424, 2011.

Realização

 ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

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.

STATISTA. The Statista Portal: Brazil: rice production volume 2010-2017. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/741138/rice-production-volume-brazil/>>. Acesso em 29 março 2018.

USDA. United States Department of Agriculture: Foreign Agricultural Service. **Brazil Dairy and Products Annual: Annual Dairy Report.** 2017. Disponível em: <https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Dairy%20and%20Products%20Annual_Brasilia_Brazil_10-26-2017.pdf>. Acesso em 29 março 2018.

WEILAND, P. Biogas production: current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v.85, p.849-860, 2010.

Realização

 ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375