

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 29/09/2024.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE VINHAÇA E ÁGUAS
RESIDUÁRIAS DA BOVINOCULTURA LEITEIRA EM
REATORES UASB, EM SÉRIE**

Michel de Santi Caraça

Tecnólogo em Biocombustíveis

Jaboticabal

2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE VINHAÇA E ÁGUAS
RESIDUÁRIAS DA BOVINOCULTURA LEITEIRA EM
REATORES UASB, EM SÉRIE**

Discente: Michel de Santi Caraça

Orientadora: Profa. Dra. Rose Maria Duda

Coorientador: Prof. Dr. Roberto Alves de Oliveira

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias —UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Microbiologia Agropecuária.

C257c

Caraça, Michel de Santi

Co-digestão anaeróbia de vinhaça e águas residuárias da
bovinocultura leiteira em reatores UASB, em série / Michel de Santi
Caraça. -- Jaboticabal, 2022

56 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Rose Maria Duda

Coorientador: Roberto Alves de Oliveira

1. Bioenergia. 2. Biogás. 3. Metano. 4. Vinhoto. 5. Reatores
Anaeróbios. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE VINHAÇA E ÁGUAS RESIDUÁRIAS DA BOVINOCULTURA LEITEIRA EM REATORES UASB EM SÉRIE

AUTOR: MICHEL DE SANTI CARAÇA

ORIENTADORA: ROSE MARIA DUDA

COORIENTADOR: ROBERTO ALVES DE OLIVEIRA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Microbiologia Agropecuária, pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. ROSE MARIA DUDA (Participação Virtual)
Produção de Biogas Tratamento de Águas Residuárias / FATEC Jaboticabal/SP



Prof. Dr. LUCIANO DOS SANTOS RODRIGUES (Participação Virtual)
Universidade Federal de Minas Gerais / Belo Horizonte/MG



Profa. Dra. SIMONE DAMASCENO GOMES (Participação Virtual)
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas / Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE - Cascavel



Jaboticabal, 29 de setembro de 2022

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Michel de Santi Caraça — Filho de Celso Aparecido Caraça e Rosana Aparecida de Santi, nascido em Jaboticabal, no Estado de São Paulo, no dia 25 de março de 1992. Técnico em Agropecuária pelo Colégio Técnico Agrícola “José Bonifácio” na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal - SP, em dezembro de 2009. Tecnólogo em Biocombustíveis formado pela Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal (FATEC) - SP, em julho de 2019. Em agosto de 2019 iniciou o curso de Pós-Graduação em Microbiologia Agropecuária, em nível de Mestrado, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal - SP no Laboratório de Saneamento Ambiental (Departamento de Engenharia e Ciências Exatas).

AGRADECIMENTOS

À Deus, por estar presente em minha vida.

À Professora Dra. Rose Maria Duda, pela orientação, confiança depositada, por sua paciência, conselhos, inúmeras contribuições e pelo apoio em momentos difíceis e pela oportunidade de realização do curso de Pós-Graduação ao nível de Mestrado.

Ao Professor Dr. Roberto Alves de Oliveira pela co-orientação, por ceder o espaço do laboratório de Saneamento Ambiental, permitindo a realização da pesquisa, pelos conselhos e pelas contribuições à pesquisa.

Aos docentes Dr. Luciano dos Santos Rodrigues e a Dr^a. Ana Cláudia Ruggieri pela participação da banca examinadora de qualificação. Agradeço-os pelas valiosas contribuições feitas ao trabalho.

A Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista (FCAV/UNESP), em particular, o Laboratório de Saneamento Ambiental e o Departamento de Engenharia e Ciências Exatas, disponibilizando recursos e instalações para realizar este trabalho.

Aos funcionários da Secretaria de Pós-Graduação pela disposição e ajuda sempre prestada, em especial à Branca, Eliana, Márcia, Diego e Moyses.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Microbiologia Agropecuária da UNESP – FCAV, pelas disciplinas ministradas e pelo aprimoramento acadêmico.

Aos Funcionário do Departamento de Engenharia Rural: Ailton, pelo auxílio prestado.

Também agradeço a Renata, Eliane, Jorge, Valciney, Vivian e Stella, obrigado pela amizade, e ajuda prestada.

Aos meus pais Celso e Rosana, por todo apoio.

À usina “Pitangueiras” pelo fornecimento de vinhaça.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro (código financeiro 001).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo nº: 2019/19443-6.

CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE VINHAÇA E ÁGUAS RESIDUÁRIAS DA BOVINOCULTURA LEITEIRA EM REATORES UASB, EM SÉRIE

RESUMO

A digestão anaeróbia pode ser uma alternativa atraente para o aproveitamento energético da vinhaça e das águas residuárias da bovinocultura leiteira (ARBL) e redução dos problemas ambientais. O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da co-digestão anaeróbia da vinhaça de cana-de-açúcar com ARBL, em dois reatores UASB (R1 e R2), em série, na produção de biogás e efluente de qualidade. Foi utilizado a vinhaça e as ARBL, na proporção de 3/1, sendo 75% do volume de vinhaça e 25% do volume de ARBL. Também foi realizado a recirculação do efluente do R2 para adequação do pH do afluente. As melhorias nas condições nutricionais da vinhaça em virtude da co-digestão com as ARBL, aliada a recirculação do efluente proporcionaram remoções médias de DQO_{total} de 77% para o sistema (R1+R2) e produção volumétrica e específica de metano de 0,451 m³ CH₄ (m³ d)⁻¹ e 0,15 m³ CH₄ (kg DQO_{total} removida)⁻¹ para o R1, respectivamente. Foram observados o consumo dos ácidos voláteis totais e aumento da alcalinidade parcial nos reatores UASB. No efluente do R2 foram observadas concentrações de NTK, P-total, Ca, Mg e Fe de 70; 31; 21; 7,4 e 3,5 mg L⁻¹, o que indica que esses elementos permaneceram no efluente e essa característica é interessante, pois o efluente poderá ser utilizado na fertirrigação da cana-de-açúcar. A partir do potencial teórico de produção de energia elétrica, verificou-se a possibilidade da produção de energia elétrica nos reatores UASB de 10,65 kwh d⁻¹ por m³ de vinhaça, ou seja 39% da energia elétrica necessária para processar uma tonelada de cana-de-açúcar. Portanto, a co-digestão da vinhaça e das ARBL pode ser uma opção para a melhoria nas condições operacionais dos reatores anaeróbios e seu aproveitamento energético.

Palavras-chave: Bioenergia. Biogás. Metano. Vinhoto. Reatores anaeróbios.

ANAEROBIC CO-DIGESTION OF VINASSE AND WASTEWATER FROM DAIRY CATTLE IN UASB REACTORS, IN SERIES

ABSTRACT

Anaerobic digestion can be an attractive alternative for the energy use of vinasse and dairy cattle wastewater (DCW) and reducing environmental problems. The objective of this work was to evaluate the effect of anaerobic co-digestion of sugarcane vinasse with DCW, in two UASB reactors (R1 and R2), in series, on the production of biogas and quality effluent. Vinasse and DCW were used, in the proportion of 3/1, being 75% of the vinasse volume and 25% of the DCW volume. The recirculation of the R2 effluent was also carried out to adjust the pH of the influent. The improvements in the nutritional conditions of the vinasse due to the co-digestion with the DCW, combined with the recirculation of the effluent, provided average removals of total COD of 77% for the system (R1+R2) and volumetric and specific production of methane of $0.451 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 (\text{m}^3 \text{ d})^{-1}$ and $0.15 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 (\text{kg COD}_{\text{total removed}})^{-1}$ for R1, respectively. It was observed the consumption of total volatile acids and increase of partial alkalinity in the UASB reactors. In the R2 effluent, concentrations of TKN, total-P, Ca, Mg and Fe of 70 were observed; 31; 21; 7.4 and 3.5 mg L^{-1} , which indicates that these elements remained in the effluent and this characteristic is interesting, since the effluent can be used in the fertigation of sugarcane. From the theoretical potential of electric energy production, it was verified the possibility of producing electric energy in the UASB reactors of 10.65 kWh d^{-1} per m^3 of vinasse, that is, 39% of the electric energy needed to process a ton of sugar cane. Therefore, the co-digestion of vinasse and DCW can be an option for improving the operational conditions of anaerobic reactors and their energy use.

Keywords: Bioenergy. Biogas. Methane. Vinasse. Anaerobic reactors.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

1. INTRODUÇÃO

O etanol é um importante biocombustível no setor de energias renováveis. No Brasil e no estado de São Paulo, na safra dos anos 20/21 foram produzidos 32,5 e 14,4 bilhões de litros de etanol de cana-de-açúcar, respectivamente (ÚNICA, 2021), e pode ser uma opção para a substituição dos combustíveis fósseis (OLIVEIRA et al., 2015).

No entanto, na produção de etanol a partir da cana de açúcar são produzidas quantidades significativas de vinhaça, de 10 a 14 litros para cada litro de etanol destilado (ORTEGÓN et al., 2016). A vinhaça possui pH ácido na faixa de (pH 3,5 – 4,5) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO) de 15.000 a 65.000 mg L⁻¹ (FUESS; GARCIA, 2014). A vinhaça normalmente é aplicada ao solo, seguindo a norma CETESB (P 4.231/2015), como fonte principalmente de potássio, substituindo parcialmente o uso de fertilizantes químicos.

A atratividade da fertirrigação para os tomadores de decisão na cadeia de processamento da cana-de-açúcar baseia-se nos investimentos mínimos necessários para transporte da vinhaça, que pode ser facilmente realizado por dutos ou caminhões (FUESS et al., 2021). Porém essa prática poderá, se utilizada inadequadamente, ocasionar uma série de impactos ambientais, como lixiviação de metais para as águas subterrâneas, odor desagradável (CHRISTOFOLETTI et al., 2013; DE OLIVEIRA et al., 2013), além de estimular a atividade biológica indesejada, induzida pelo aumento de disponibilidade de material orgânico, contribuindo com a liberação de metano e óxido nitroso, por exemplo (OLIVEIRA et al., 2015).

A digestão anaeróbia pode ser uma alternativa atraente para o aproveitamento energético da vinhaça e redução dos impactos ambientais. No processo de digestão anaeróbia os compostos orgânicos da vinhaça serão convertidos em biogás, que poderá ser utilizado, por exemplo, para a secagem de levedura e produção de energia elétrica (BARROS et al., 2016; MADALENO et al., 2020; PARSAEE et al., 2019). E a vinhaça biodigerida nos reatores anaeróbios, poderá ser aplicada nos canaviais com mais segurança e sem perder o potencial de fertilização (DEL NERY et al., 2018). A quantidade de emissões de metano e óxido nitroso da vinhaça obtida da produção de etanol de beterraba co-digerida anaerobicamente em um reator de mistura completa (CSTR) com dejetos de vaca e palha (em proporções de 61:2:37% respectivamente em termos de SV total) foi reduzida em 100% e 78%, respectivamente, em

comparação com quando aplicada diretamente ao solo (MORAES et al., 2017), indicando a importância ambiental da digestão anaeróbia da vinhaça.

No entanto, a digestão anaeróbia da vinhaça da cana-de-açúcar, ainda possui limitações e desafios, principalmente em virtude das variações nas características da vinhaça (BARROS; DUDA; OLIVEIRA, 2016a; MOTA; SANTOS; AMARAL, 2013), dificuldade na partida dos reatores anaeróbios e a manutenção da biomassa ativa nos reatores (DEL NERY et al., 2018). As características da vinhaça dependem da matéria prima e do processo de produção do etanol, e podem ser desfavoráveis para a digestão anaeróbia, sendo necessárias adequações (BARROS; DUDA; OLIVEIRA, 2016a; JANKE et al., 2016; PRADO; CAIONE; CAMPOS, 2013). A vinhaça é constituída principalmente por água, de 94 a 97%, alguns macronutrientes como K, Ca, N, Mg, S e resíduos de açúcar e etanol (BARROS et al., 2017). De acordo com Parsaee et al. (2019), a digestão anaeróbia da vinhaça como único substrato pode ser ineficiente, com uma baixa conversão em biogás, em virtude da carência de nutrientes.

A co-digestão da vinhaça com outros resíduos foram relatados recentemente e incluem a utilização de soro de queijo (ALBUQUERQUE; RATUSZNEI; RODRIGUES, 2019a), bagaço de cana-de-açúcar (GONZÁLEZ et al., 2017), resíduos da produção de café (PINTO et al., 2018), torta de filtro (BARROS et al., 2017). Alguns benefícios da co-digestão anaeróbia da vinhaça são a melhoria no equilíbrio de nutrientes, aumento da concentração de matéria orgânica biodegradável e consequentemente a melhoria no rendimento de biogás por volume digerido, além de reduzir os custos de operação dos reatores anaeróbios (ALBUQUERQUE; RATUSZNEI; RODRIGUES, 2019a).

A co-digestão de vinhaça oriunda da produção de etanol da cana de açúcar e águas residuárias da bovinocultura de leite (ARBL) pode ser uma alternativa interessante em regiões produtoras de etanol e leite. A co-digestão da vinhaça e das ARBL pode ser uma nova opção para a melhoria nas condições operacionais dos reatores anaeróbios utilizados no tratamento da vinhaça e fornecer uma alternativa para o manejo de ARBL, principalmente para a diminuição dos surtos da mosca *Stomoxys Calcitrans* (Diptera: Muscidae), conhecida como mosca dos estábulos.

O dejetos proveniente de bovinocultura de leite possui, em termos de massa seca total, aproximadamente 3,03% de nitrogênio, 2,41% de cálcio, 1,24% de potássio e 1% de outros compostos, incluindo magnésio, fósforo, enxofre, ferro, sódio, zinco,

manganês, cobre e cobalto, sendo estas dependentes da dieta e das condições em que os animais são mantidos (ZHU et al., 2021). Muitas instalações destinadas a bovinocultura de leite utilizam água para o manejo dos dejetos, seguido por tratamento primário (peneiramento mecânico ou sedimentação ou ambos) para remover sólidos em suspensão (HARRIS et al., 2008). Portanto o uso das ARBL, pode ser uma alternativa interessante, para melhorar as condições nutricionais da vinhaça necessárias para a digestão anaeróbia estável, propiciando o aumento na produção de metano (MAO et al., 2015).

O reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) é utilizado mundialmente no tratamento de diversas águas residuárias industriais e agroindustriais (DORN et al., 2012; JANKE et al., 2016; JIANG et al., 2016; SANTANA JUNIOR et al., 2019). E a utilização de reatores UASB em dois estágios em série, se mostrou eficiente, em vários estudos (CAMARILLO; RINCÓN, 2012; DEMIREL; YENIGÜN, 2006; GOMES et al., 2017; ZHONG; STEVENS; HANSEN, 2015), evitando sobrecargas orgânicas e ácidas, reduzindo o efeito inibitório de compostos tóxicos, promovendo a estabilidade e o controle do processo, permitindo a aplicação de altas cargas orgânicas, com maior produção de energia, sendo interessante a sua utilização para o tratamento da vinhaça.

Diante do exposto esse trabalho visou a co-digestão anaeróbia da vinhaça e das ARBL em dois reatores UASB (R1 e R2), em série, para a produção de biogás e efluente com menor impacto poluidor.

6 CONCLUSÃO

A co-digestão anaeróbia da vinhaça e das ARBL permitiu a estabilidade do processo anaeróbio e pode ser uma alternativa viável para o tratamento conjunto da vinhaça e das ARBL nas condições estudadas.

Foram observados valores médios de produção volumétrica de metano de $0,451 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 (\text{m}^3 \text{ d})^{-1}$ no R1. A estimativa teórica da produção de energia elétrica do biogás obtido foi de $10,65 \text{ kWh d}^{-1}$ por m^3 de vinhaça, ou seja 39% da energia elétrica necessária para processar uma tonelada de cana-de-açúcar.

Embora o R2 tenha contribuído com valores inferiores de remoção de $\text{DQO}_{\text{total}}$ e sólidos, ele é importante para a estabilização do processo e geração de um efluente de melhor qualidade. As eficiências de remoção de NTK, P-total, Ca, Mg e Fe foram baixas, indicando que o efluente pode ser utilizado na fertirrigação da cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. N.; RATUSZNEI, S. M.; RODRIGUES, J. A. D. Biomethane production by thermophilic co-digestion of sugarcane vinasse and whey in an AnSBBR: Effects of composition, organic load, feed strategy and temperature. **Journal of Environmental Management**, v. 251, n. September, p. 109606, 2019a.
- ALBUQUERQUE, J. N.; RATUSZNEI, S. M.; RODRIGUES, J. A. D. Biomethane production by thermophilic co-digestion of sugarcane vinasse and whey in an AnSBBR: Effects of composition, organic load, feed strategy and temperature. **Journal of Environmental Management**, v. 251, n. September, p. 109606, 2019b.
- ÁLVAREZ, J. A.; OTERO, L.; LEMA, J. M. A methodology for optimising feed composition for anaerobic co-digestion of agro-industrial wastes. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 4, p. 1153–1158, 1 fev. 2010.
- APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. [s.l.] American Public Health Association, 2005.
- ARAUJO. DIGESTÃO ANAERÓBIA DE VINHAÇA EM REATORES UASB TERMOFÍLICOS, EM SÉRIE, COM ADIÇÃO DE Fe, Ni e Co. 2017.
- ASLANZADEH, S. et al. The effect of effluent recirculation in a semi-continuous two-stage anaerobic digestion system. **Energies**, v. 6, n. 6, p. 2966–2981, 2013.
- BARROS, V. G. DE et al. Improved methane production from sugarcane vinasse with filter cake in thermophilic UASB reactors, with predominance of *Methanothermobacter* and *Methanosarcina* archaea and *Thermotogae* bacteria. **Bioresource Technology**, v. 244, n. May, p. 371–381, 2017a.
- BARROS, V. G. DE; DUDA, R. M.; OLIVEIRA, R. A. DE. Biomethane production from vinasse in upflow anaerobic sludge blanket reactors inoculated with granular sludge. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 47, n. 3, p. 628–639, 2016a.
- BARROS, V. G. DE; DUDA, R. M.; OLIVEIRA, R. A. DE. Biomethane production from vinasse in UASB reactors inoculated with granular sludge. **Brazilian Journal of Microbiology**, p. 1–12, 2016b.
- BARROS, V. G. D. et al. Improved methane production from sugarcane vinasse with filter cake in thermophilic UASB reactors, with predominance of *Methanothermobacter* and *Methanosarcina* archaea and *Thermotogae* bacteria. **Bioresource Technology**, v. 244, 2017b.
- BELLE, A. J. et al. Anaerobic co-digestion of forage radish and dairy manure in complete mix digesters. **Bioresource Technology**, v. 178, p. 230–237, 1 fev. 2015.
- BRUNO, M.; DE OLIVEIRA, R. A. Performance of uasb reactors in two stages followed by post-treatment with activated sludge in wastewater batch of wet-processed coffee. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 4, p. 808–819, 2013.
- CAMARILLO, R.; RINCÓN, J. Effect of inhibitory compounds on the two-phase anaerobic digestion performance of diluted wastewaters from the alimentary industry. **Chemical Engineering Journal**, v. 193–194, p. 68–76, 2012.
- CHEN, M. et al. Methane production and characteristics of the microbial community in the co-digestion of potato pulp waste and dairy manure amended with biochar. **Renewable Energy**, v. 163, p. 357–367, 2021.
- CHERNICHARO, C. A. DE L. **Anaerobic Reactors**. 2nd ed ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG; 2007., 2007.
- CHERNICHARO, C. A. DE L. **Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico em águas residuárias**. 2. ed ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG; 2007., 2016.

- CHONG, S. et al. The performance enhancements of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors for domestic sludge treatment – A State-of-the-art review. **Water Research**, v. 46, n. 11, p. 3434–3470, jul. 2012.
- CHRISTOFOLETTI, C. A. et al. Sugarcane vinasse: Environmental implications of its use. **Waste Management**, v. 33, n. 12, p. 2752–2761, 2013.
- CUNHA, C. S. et al. Greenhouse gases inventory and carbon balance of two dairy systems obtained from two methane-estimation methods. **Science of the Total Environment**, v. 571, p. 744–754, 2016.
- DE OLIVEIRA, B. G. et al. Soil greenhouse gas fluxes from vinasse application in Brazilian sugarcane areas. **Geoderma**, v. 200–201, p. 77–84, 2013.
- DEL NERY, V. et al. Hydraulic and organic rates applied to pilot scale UASB reactor for sugar cane vinasse degradation and biogas generation. **Biomass and Bioenergy**, v. 119, p. 411–417, dez. 2018.
- DEMIREL, B.; YENIGÜN, O. Changes in microbial ecology in an anaerobic reactor. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 10, p. 1201–1208, 2006.
- DIAS, T.; FRAGOSO, R.; DUARTE, E. Anaerobic co-digestion of dairy cattle manure and pear waste. **Bioresource Technology**, v. 164, p. 420–423, 2014.
- DILALLO, R.; ALBERTSON, O. E. Volatile Acids by Direct Titration. **Water Pollution Control Federation**, v. 33, n. 4, p. 356–365, 1961.
- DOMINGHETTI, T. F. DE S. et al. *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae) outbreaks: current situation and future outlook with emphasis on Brazil. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 24, n. 4, p. 387–395, 2015.
- DORN, T.; FLAMME, S.; NELLES, M. A review of energy recovery from waste in China. **Waste Management & Research**, v. 30, n. 4, p. 432–441, 2012.
- EMBRAPA. **Anuário Leite - Pecuária leiteira de precisão**, 2022.
- ESPAÑA-GAMBOA, E. I. et al. Methane production by treating vinasses from hydrous ethanol using a modified UASB reactor. **Biotechnology for Biofuels**, v. 5, n. 1, p. 82, 2012.
- FEITOSA CAVALCANTI, P. F. et al. **Excess sludge discharge frequency for UASB reactors** *Water Science and Technology*, 1999.
- FERNANDO HERRERA ADARME, O. et al. Biogas production by anaerobic co-digestion of sugarcane biorefinery byproducts: Comparative analyses of performance and microbial community in novel single-and two-stage systems. **Bioresource Technology**, v. 354, n. February, 2022.
- FUESS, L. T. et al. Pros and cons of fertirrigation with in natura sugarcane vinasse: Do improvements in soil fertility offset environmental and bioenergy losses? **Journal of Cleaner Production**, v. 319, n. August, 2021.
- FUESS, L. T.; GARCIA, M. L. Implications of stillage land disposal: A critical review on the impacts of fertigation. **Journal of Environmental Management**, v. 145, p. 210–229, 2014.
- GOMES, V. et al. Improved methane production from sugarcane vinasse with filter cake in thermophilic UASB reactors, with predominance of *Methanothermobacter* and *Methanosarcina* archaea and *Thermotoga* bacteria. **Bioresource Technology**, v. 244, n. May, p. 371–381, 2017.
- HARRIS, W. G. et al. Bench-scale recovery of phosphorus from flushed dairy manure wastewater. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 8, p. 3036–3043, 2008.
- JANKE, L. et al. Enhancing biogas production from vinasse in sugarcane biorefineries: Effects of urea and trace elements supplementation on process performance and stability. **Bioresource Technology**, v. 217, p. 10–20, 2016.

- JENKINS, S. R., MORGAN, J. M., SAWYER, L. C. Measuring Anaerobic Sludge Digestion and Growth by a Simple Alkalimetric Titration. **Water Pollution Control Federation**, v. 55, n. 5, p. 448–453, 1983.
- JIANG, H.; LIU, J.; HAN, W. The status and developments of leather solid waste treatment: A mini-review. **Waste Management and Research**, v. 34, n. 5, p. 399–408, 2016.
- JOPPERT, C. L. et al. Energetic shift of sugarcane bagasse using biogas produced from sugarcane vinasse in Brazilian ethanol plants. **Biomass and Bioenergy**, v. 107, p. 63–73, 2017.
- KHAN, A. A.; MEHROTRA, I.; KAZMI, A. A. Sludge profiling at varied organic loadings and performance evaluation of UASB reactor treating sewage. **Biosystems Engineering**, v. 131, p. 32–40, 2015.
- KIM, D. H. et al. Prediction of bio-methane potential and two-stage anaerobic digestion of starfish. **Bioresource Technology**, v. 141, p. 184–190, 2013.
- KYTHREOTOU, N.; TASSOU, S. A.; FLORIDES, G. An assessment of the biomass potential of Cyprus for energy production. **Energy**, v. 47, n. 1, p. 253–261, 1 nov. 2012.
- LEITÃO, R. C. et al. The effects of operational and environmental variations on anaerobic wastewater treatment systems: A review. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 9, p. 1105–1118, 2006.
- LI, Y.; CHEN, Y.; WU, J. Enhancement of methane production in anaerobic digestion process: A review. **Applied Energy**, v. 240, n. January, p. 120–137, 2019.
- LÓPEZ GONZÁLEZ, L. M.; PEREDA REYES, I.; ROMERO ROMERO, O. Anaerobic co-digestion of sugarcane press mud with vinasse on methane yield. **Waste Management**, v. 68, p. 139–145, 2017.
- MADALENO, L. L. et al. The recycling of biodigested vinasse in an upflow anaerobic sludge blanket reactor is a feasible approach for the conservation of freshwater in the biofuel ethanol industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 262, p. 121196, 2020.
- MANYI-LOH, C. E. et al. Microbial anaerobic digestion (bio-digesters) as an approach to the decontamination of animal wastes in pollution control and the generation of renewable energy. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 10, n. 9, p. 4390–4417, 2013.
- MAO, C. et al. **Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, maio 2015. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032115001203>>
- MATA-ALVAREZ, J. et al. A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 36, p. 412–427, 1 ago. 2014.
- MAULE, C. E. É. D. E. et al. Produtividade Agrícola De Cultivares De Cana-De-Açúcar Em Diferentes Solos Productivity of Sugarcane Cultivars in Different. **Scientia**, p. 295–301, 2001.
- MCCARTY, P. L. Anaerobic Waste Treatment Fundamentals - part one - Chemistry and Microbiology. **Public Works**, v. 95, n. 9, p. 107–112, 1964.
- MEEGODA, J. N. et al. A Review of the Processes, Parameters, and Optimization of Anaerobic Digestion. **International journal of environmental research and public health**, v. 15, n. 10, p. 2224, 11 out. 2018.
- MENG, Q. et al. Anaerobic digestion and recycling of kitchen waste: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 20, n. 3, p. 1745–1762, 2022.
- MONTOYA, A. C. V. et al. Dairy manure wastewater in serial UASB reactors for energy recovery and potential effluent reuse. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 34, n. 4, p. 971–983, 2017.

- MORAES, B. S. et al. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane biorefineries in Brazil from energy, environmental, and economic perspectives: Profit or expense? **Applied Energy**, v. 113, p. 825–835, 1 jan. 2014.
- MORAES, B. S. et al. Reduction in greenhouse gas emissions from vinasse through anaerobic digestion. **Applied Energy**, v. 189, n. 2017, p. 21–30, 2017.
- MORAES, B. S.; ZAIAT, M.; BONOMI, A. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: Challenges and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 44, p. 888–903, 2015.
- MOTA, V. T.; SANTOS, F. S.; AMARAL, M. C. S. Two-stage anaerobic membrane bioreactor for the treatment of sugarcane vinasse: Assessment on biological activity and filtration performance. **Bioresource Technology**, v. 146, p. 494–503, 2013.
- MULLENS, B. A. et al. Behavioural responses of dairy cattle to the stable fly, *Stomoxys calcitrans*, in an open field environment. **Medical and Veterinary Entomology**, v. 20, n. 1, p. 122–137, 2006.
- OLIVEIRA, B. G. DE et al. Greenhouse gas emissions from sugarcane vinasse transportation by open channel: A case study in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 94, p. 102–107, 2015.
- ORTEGÓN, G. P. et al. Vinasse application to sugar cane fields. Effect on the unsaturated zone and groundwater at Valle del Cauca (Colombia). **Science of the Total Environment**, v. 539, p. 410–419, 2016.
- PACHECO, T. F. Fermentação alcoólica com leveduras de características floculantes em reator tipo torre com escoamento ascendente. **Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química**, 93 p., p. 106, 2010.
- PARSAEE, M.; KIANI DEH KIANI, M.; KARIMI, K. A review of biogas production from sugarcane vinasse. **Biomass and Bioenergy**, v. 122, n. January, p. 117–125, 2019.
- PINTO, M. P. M. et al. Co-digestion of coffee residues and sugarcane vinasse for biohythane generation. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 1, p. 146–155, 2018.
- POLMAN, E. M. N. et al. **Comparison of the aerobic biodegradation of biopolymers and the corresponding bioplastics: A review** *Science of the Total Environment* Elsevier, , 20 jan. 2021.
- PRADO, R. D. M.; CAIONE, G.; CAMPOS, C. N. S. Filter cake and vinasse as fertilizers contributing to conservation agriculture. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2013, n. Table 1, 2013.
- RAVEENDRAN, S. et al. Applications of Microbial Enzymes in Food Industry. **Food technology and biotechnology**, v. 56, n. 1, p. 16–30, mar. 2018.
- RICHARD E. SPEECE. **Anaerobic biotechnology e odor/corrosion control for municipalities e industries**. [s.l: s.n.].
- RODRÍGUEZ-BATISTA, Z. et al. Populational dynamics of *Stomoxys calcitrans* (Linnaeus) (Diptera: Muscidae) in three biocenosis, Minas Gerais, Brazil. **Veterinary Parasitology**, v. 130, n. 3–4, p. 343–346, 2005.
- SANTANA; OLIVEIRA, R. A. Desempenho de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo em dois estágios tratando águas residuárias de suinocultura. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 817–830, 2005.
- SANTANA JUNIOR, A. E. VINHAÇA EM REATORES ANAERÓBIOS HORIZONTAIS DE ALTA TAXA, EM SÉRIE: EFEITO DO AUMENTO GRADUAL DAS CARGAS ORGÂNICAS VOLUMÉTRICAS NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS E NAS POPULAÇÕES MICROBIANAS. 2018.

- SANTANA JUNIOR, A. E.; DUDA, R. M.; OLIVEIRA, R. A. DE. Improving the energy balance of ethanol industry with methane production from vinasse and molasses in two-stage anaerobic reactors. **Journal of Cleaner Production**, v. 238, p. 117577, 2019.
- SCHMIDT, T. et al. Trace element supplementation in the biogas production from wheat stillage – Optimization of metal dosing. **Bioresource Technology**, v. 168, p. 80–85, 1 set. 2014.
- SINGH, R. P.; KUMAR, S.; OJHA, C. S. P. Nutrient requirement for UASB process: a review. **Biochemical Engineering Journal**, v. 3, n. 1, p. 35–54, 1 fev. 1999.
- SPEECE, R. E. Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment. **Environmental Science & Technology**, v. 17, n. 9, p. 416A-427A, set. 1983.
- STAZI, V.; TOMEI, M. C. Dissolved methane in anaerobic effluents: A review on sustainable strategies for optimization of energy recovery or internal process reuse. **Journal of Cleaner Production**, v. 317, n. July, p. 128359, 2021.
- TIM MAY, MALCOLM WILLIAMS, RICHARD WIGGINS, AND P. A. B. USO DE RECICLO E AQUECIMENTO NAS CARGAS DIÁRIAS DE BIODIGESTORES ABASTECIDOS COM DEJETOS DE BOVINOS E BATATA DOCE. n. 1996, p. 6, 2021.
- UÇKUN KIRAN, E. et al. Production of biogas via anaerobic digestion. In: **Handbook of Biofuels Production: Processes and Technologies: Second Edition**. [s.l.] Elsevier, 2016. p. 259–301.
- VAN, D. P. et al. A review of anaerobic digestion systems for biodegradable waste: Configurations, operating parameters, and current trends. **Environmental Engineering Research**, v. 25, n. 1, p. 1–17, 2020.
- VILLA-MONTOYA, A. C.; FERRO, M. I. T.; DE OLIVEIRA, R. A. Removal of phenols and methane production with coffee processing wastewater supplemented with phosphorous. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 14, n. 1, p. 61–74, 2017.
- VOLPI, M. P. C. et al. Operational and biochemical aspects of co-digestion (co-AD) from sugarcane vinasse, filter cake, and deacetylation liquor. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 105, n. 23, p. 8969–8987, 2021.
- VUITIK, G. A. et al. Effects of recirculation in anaerobic baffled reactors. **Journal of Water Process Engineering**, v. 28, n. July 2018, p. 36–44, 2019.
- WANG, S. et al. Influence of Temperature on Biogas Production Efficiency and Microbial Community in a Two-Phase Anaerobic Digestion System. **Water**, v. 11, n. 1, p. 133, 12 jan. 2019.
- XAVIER, T. F. Vinhaça in natura e biodigerida concentrada: efeitos nas características químicas e bioquímicas do solo e no crescimento inicial da cana-de-açúcar. **Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP**, p. 68, 2012.
- XIN, X.; HE, J.; QIU, W. Volatile fatty acid augmentation and microbial community responses in anaerobic co-fermentation process of waste-activated sludge mixed with corn stalk and livestock manure. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 5, p. 4846–4857, 2018.
- ZENG, Y. F.; LIU, Z. L.; QIN, Z. Z. Decolorization of molasses fermentation wastewater by SnO₂-catalyzed ozonation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 162, n. 2–3, p. 682–687, 15 mar. 2009.
- ZHANG, J.; WANG, S.; WANG, Y. Biobutanol Production From Renewable Resources: Recent Advances. **Advances in Bioenergy**, v. 1, p. 1–68, 1 jan. 2016.

- ZHAO, H. W.; VIRARAGHAVAN, T. Analysis of the performance of an anaerobic digestion system at the Regina wastewater treatment plant. **Bioresource Technology**, v. 95, n. 3, p. 301–307, 2004.
- ZHONG, J.; STEVENS, D. K.; HANSEN, C. L. Optimization of anaerobic hydrogen and methane production from dairy processing waste using a two-stage digestion in induced bed reactors (IBR). **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 40, n. 45, p. 15470–15476, 2015.
- ZHU, Q. L. et al. Bioenergy from dairy manure: technologies, challenges and opportunities. **Science of the Total Environment**, v. 790, 2021.
- ZUO, Z. et al. Effects of organic loading rate and effluent recirculation on the performance of two-stage anaerobic digestion of vegetable waste. **Bioresource Technology**, v. 146, p. 556–561, 2013.