

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 11/02/2022.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ADIÇÃO DE FERRO NAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE
CERVEJARIA VISANDO AUMENTO DA PRODUÇÃO DE
METANO E A ESTABILIDADE DE REATORES UASB EM
DOIS ESTÁGIOS**

Amanda Sá Quintanilha

Bióloga

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2020

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ADIÇÃO DE FERRO NAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE
CERVEJARIA VISANDO AUMENTO DA PRODUÇÃO DE
METANO E A ESTABILIDADE DE REATORES UASB EM
DOIS ESTÁGIOS**

Amanda Sá Quintanilha

Orientador: Prof. Dr. Roberto Alves de Oliveira

Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do Título de Mestre em Microbiologia Agropecuária.

2020

Q7a

Quintanilha, Amanda Sá

Adição de ferro nas águas residuárias de cervejaria visando aumento da produção de metano e a estabilidade de reatores UASB em dois estágios / Amanda Sá Quintanilha. -- Jaboticabal, 2020
75 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Roberto Alves de Oliveira

1. Digestão de águas residuais. 2. Resíduos industriais. 3. Sewage Microbiology. 4. Reatores UASB. 5. Metano. 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: ADIÇÃO DE FERRO NAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE CERVEJARIA VISANDO O AUMENTO DA PRODUÇÃO DE METANO E A ESTABILIDADE DE REATORES UASB EM DOIS ESTÁGIOS


AUTORA: AMANDA SÁ QUINTANILHA

ORIENTADOR: ROBERTO ALVES DE OLIVEIRA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em MICROBIOLOGIA AGROPECUÁRIA, pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. ROBERTO ALVES DE OLIVEIRA
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. EDSON APARECIDO ABDUL NOUR
Departamento de Saneamento e Ambiente / Universidade Estadual de Campinas/SP



Prof. Dr. MARCELO BRUNO
Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos / UNIFEB / Barretos/SP

Jaboticabal, 11 de fevereiro de 2020

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

AMANDA SÁ QUINTANILHA – Filha de Cleber Wilson de Araújo Quintanilha e Tania Regina Siqueira Sá, nascida em Niterói, no Estado do Rio de Janeiro, no dia 30 de julho de 1987. Coursou bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) – RJ, onde desenvolveu projeto de pesquisa com bolsa de iniciação científica PIBIC, e se envolveu em atividades extracurriculares de monitoria, curadoria, educação e integralização da ciência e o público. Paralelamente, conheceu a produção de cervejas em 2013, começando a estudar e a trabalhar neste setor. Em março de 2017 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, situada em Jaboticabal – SP.

“Um passo à frente e você não está mais no mesmo lugar.”

(Chico Science)

Dedico este trabalho a você, que o lê agora.
Mantenha sempre em mente o motivo pelo
qual escolheu o caminho acadêmico e não
deixe de aproveitar todos os bons momentos.
Espero que lhe seja útil.

AGRADECIMENTOS

Ao meu marido André, que me ajudou de diversas maneiras no experimento, me apoiou e não me deixou desistir, mesmo que eu querendo muito em alguns momentos.

Aos amigos do laboratório, que sempre me ajudaram, direta ou indiretamente, e pelas trocas de ideias, nos cafés e risadas que tornavam tudo mais leve. Ao longo do processo tive perdas pessoais inestimáveis que me abalaram, mas o experimento permaneceu caminhando (e minha sanidade também rsrs) com a ajuda de vocês: Alexandra, Ailton, Bal, Daniele, Denis, Eliane, Jorge, Juliana, Kleber, Michel, Renata, Stella, Valciney e Wilmar.

Ao Kleber também, por toda ajuda desde o início, com o início do experimento, operação dos reatores, análises e por sempre compartilhar sua experiência.

Ao Valciney também, por toda ajuda em tantas etapas do trabalho, análise de dados, no desenvolvimento do artigo e nas revisões da dissertação.

À professora Rose por também me auxiliar no experimento e nas revisões do trabalho até a versão final.

Ao professor Roberto, pela oportunidade, e o desafio, de desenvolver o projeto mesmo eu não tendo experiência na área e com material um pouco fora do habitual.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. E agradeço à CAPES pelo auxílio imprescindível.

Finalizo este processo sendo uma pessoa diferente da que o iniciou. Sou grata a todos.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	3
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Produção cervejeira	4
2.2 Água residuárias de cervejaria	8
2.3 Tratamento anaeróbio em dois estágios	10
2.4 Nutrientes na digestão anaeróbia	12
2.5 Trabalhos anteriores	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Local	16
3.1.1 Configurações experimentais.....	16
3.1.2 Lodo de inóculo.....	17
3.1.3 Afluente dos reatores	18
3.2 Descrições da operação do sistema de tratamento	18
3.3 Exames físicos e determinações de constituintes orgânicos e inorgânicos nos afluentes, efluentes, lodo e biogás.....	19
3.3.1 Temperatura do ar	20
3.3.2 pH e alcalinidades.....	20
3.3.3 Ácidos voláteis totais (AVT)	21
3.3.4 Demanda química de oxigênio (DQO)	21
3.3.5 Produção de biogás	21
3.3.6 Composição do biogás	22
3.4 Análises moleculares	23
3.4.1 Amostragem de lodo e extração de DNA.....	23
3.4.2 qPCR e sequenciamento 16s	23
3.5 Cálculos e análise estatística	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1 Temperatura.....	25
4.2 pH, alcalinidade, ácidos voláteis totais nos reatores UASB em dois estágios	26
4.3 Demanda química de oxigênio (DQO)	29
4.3.1 DQO dos afluentes e efluentes dos reatores UASB (R1 e R2).....	29

4.3.2 Eficiências de remoção de DQO nos reatores UASB (R1 e R2).....	30
4.4 Sólidos suspensos totais (SST), voláteis (SSV) e fixos (SSF) nos afluentes e efluentes dos reatores UASB (R1 e R2)	32
4.5 Produção e composição de biogás	34
4.6 Sólidos totais e voláteis do lodo dos reatores UASB, R1 e R2.	43
4.7 Teores de N e P nos afluentes e efluentes dos reatores UASB (R1 e R2)	44
4.8 Teores de macro e micronutrientes nos afluentes e efluentes dos reatores UASB (R1 e R2)	46
4.9 Microbiota do sistema R1 e R2	49
4.9.1 Análises da dinâmica da composição da comunidade microbiana	49
4.10.2 Análises da dinâmica de composição da comunidade microbiana qPCR em tempo real	51
5. CONCLUSÃO	54
6. REFERÊNCIAS.....	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Processo produtivo da cerveja. Adaptado de OLAJIRE (2012).....	5
Figura 2. Representação esquemática do sistema de tratamento com os reatores anaeróbios UASB (R1 e R2).	17
Figura 3. Valores das temperaturas máximas, médias e mínimas do ar observadas na Estação Agroclimatológica durante a operação dos reatores UASB, R1 e R2.	26
Figura 4. Valor de pH no afluente e efluente dos reatores UASB (R1 e R2) ao longo do experimento.	27
Figura 5. Concentrações de alcalinidade total (AT) nos afluentes e efluentes dos reatores UASB (R1 e R2).	27
Figura 6. Concentrações da alcalinidade intermediária (AI) nos reatores UASB (R1 e R2).....	27
Figura 7. Concentração de alcalinidade parcial (AP) nos afluentes e efluentes nos reatores UASB (R1 e R2).	28
Figura 8. Concentração dos ácidos voláteis totais (AVT) nos afluentes e efluentes nos reatores UASB (R1 e R2) durante o experimento.	28
Figura 9. Valores de carga orgânica volumétrica (COV) aplicada nos reatores UASB (R1 e R2) ao longo do experimento.....	29
Figura 10. Valores de DQOtotal no afluente e efluentes dos reatores UASB (R1 e R2).....	29
Figura 11. Valores de DQOdiss no afluente e efluentes nos reatores UASB (R1 e R2).....	29
Figura 12. Produção volumétrica de metano durante a operação dos reatores UASB (R1 e R2) durante o período de experimento.	34
Figura 13. Produção volumétrica de metano durante a operação do sistema de reatores UASB (R1+R2) durante o período de experimento.	35
Figura 14. Produção específica de metano versus COV ($\text{g DQOtotal (L d)}^{-1}$) aplicada durante a operação dos reatores UASB (R1 e R2).	35

- Figura 15. Distribuição taxonômica em nível de filo (a) e nível de gênero (b) nos reatores R1 e R2 com e sem a suplementação de Fe. Others: táxons com <1% da composição total.....50
- Figura 16. Quantificação absoluta dos microrganismos com qPCR dos domínios Bacteria e Archaea (a), três ordens (b) e duas famílias (c) do domínio arquea presente no lodo dos reatores UASB de dois estágios (R1 e R2). SV: Concentração de sólidos voláteis.53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Origem das águas residuárias de cervejaria.	9
Tabela 2. Condições operacionais do sistema UASB de dois estágios.	19
Tabela 3. Exames e determinações, freqüência e fontes das metodologias utilizadas.	20
Tabela 4. Valores médios mensais e coeficientes de variação (c.v. em %) da temperatura diária do ar máxima, média e mínima durante a operação dos reatores (R1 e R2).	25
Tabela 5. Valores médios e coeficientes de variação (c.v. em %) de pH, N-amoniaco, alcalinidade parcial (AP), alcalinidade intermediária (AI), alcalinidade total (AT) e ácidos voláteis totais (AVT) do afluente e efluentes (R1 e R2); e relação AI/AP dos efluentes.	25
Tabela 6. Valores médios e coeficientes de variação (c.v. em %) da DQOtotal, DQOdiss, DQOsusp e suas eficiências de remoção, do afluente e efluentes, para as faixas de carga orgânica volumétrica (COV), durante a operação dos reatores UASB.	28
Tabela 7. Valores médios de carga orgânica volumétrica (COV) e eficiências de remoção de DQOtotal e DQOdiss.	31
Tabela 8. Valores médios e coeficientes de variação (c.v. em %) das concentrações dos sólidos suspensos totais (SST), voláteis (SSV) e fixos (SSF), nos afluentes e efluentes, e respectivas eficiências de remoção.	33
Tabela 9. Valores médios e coeficientes de variação (c.v. em %), das produções volumétrica (PVM) e específica de metano (PEM).	41
Tabela 10. Concentrações de sólidos totais (ST), nos pontos de coleta de lodo (apresentados na Figura 2) e taxas de carregamento orgânico no lodo (TCL) nos reatores UASB R1 e R2 e carga orgânica volumétrica (COV), durante a partida, fase III e VI.	43
Tabela 11. Valores médios e coeficientes de variação (c.v. em %) das concentrações e das respectivas eficiências de remoção (em %) do nitrogênio Kjeldahl (NTK) e do fósforo total (P-total), do afluente e dos efluentes dos reatores R1 e R1.	45
Tabela 12. Valores médios e coeficientes de variação (c.v. em %) das concentrações de Fe, Ni, Co, Cu e Mn (mg L^{-1}) no afluente e nos efluentes e respectivas eficiências de remoção em % do sistema R1+R2.	47

ADIÇÃO DE FERRO NAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE CERVEJARIA VISANDO AUMENTO DA PRODUÇÃO DE METANO E A ESTABILIDADE DE REATORES UASB EM DOIS ESTÁGIOS

RESUMO: O desempenho de um sistema UASB de dois estágios no tratamento de águas residuárias de cervejaria com a suplementação de Fe foi avaliado, buscando melhorar a remoção de material orgânico, produção e a qualidade do biogás. Os reatores foram operados durante 525 dias, com tempo de detenção hidráulica (TDH) de 23,5 h e 13,2 h no R1 e 15,5 h e 8,7 h no R2. No período de 343 a 525 dias, realizou-se a suplementação com diferentes dosagens de Fe. O sistema mostrou estabilidade operacional, e os maiores valores de produção volumétrica de metano foram de $2,05 \text{ L CH}_4 (\text{L d})^{-1}$ no R1 e $1,49 \text{ L CH}_4 (\text{L d})^{-1}$ no R2 com as maiores COV de $30,2 \text{ g DQO total } (\text{L d})^{-1}$ no R1 e $13,8 \text{ g DQO total } (\text{L d})^{-1}$ no R2. A produção específica de metano foi crescente no R1 de 0,09 a $0,31 \text{ L CH}_4 (\text{g DQO total removida})^{-1}$, e no R2, de 0,10 a $0,21 \text{ L CH}_4 (\text{g DQO total removida})^{-1}$. As maiores eficiências de remoção de DQO total, DQO dissolvida foram de 83,5 %. O melhor desempenho dos reatores UASB em dois estágios foi associado com uma proporção adequada de Fe, que favoreceu o tratamento anaeróbio de águas residuárias de cervejaria com elevada COV e produção de metano em condições estáveis.

PALAVRAS-CHAVE: tratamento anaeróbio, carga orgânica volumétrica, biogás.

ADDITION OF IRON TO THE BREWERY RESIDUAL WATERS AIMING AT INCREASING METHANE PRODUCTION AND A STABILITY IN TWO STAGE UASB REACTORS

ABSTRACT: The performance of a two-stage UASB system in the treatment of brewery wastewater with Fe supplementation was evaluated, seeking greater removal of organic material, production and biogas quality. The reactors were operated for 525 days, with hydraulic detention time (HDT) of 23.5 h and 13.2 h in R1 and 15.5 h and 8.7 h in R2. From 343 to 525 days, Fe supplementation was performed and different dosages were tested. The system showed operational stability, the highest methane volumetric production values were $2.05 \text{ L CH}_4 (\text{L d})^{-1}$ in R1 and $1.49 \text{ L CH}_4 (\text{L d})^{-1}$ in R2 with the highest OLR of 30, 2 g total COD $(\text{L d})^{-1}$ at R1 and 13.8 g total COD $(\text{L d})^{-1}$. Specific methane production was increased at R1 from 0.09 to $0.31 \text{ L CH}_4 (\text{g COD}_{\text{total removed}})^{-1}$ and at R2 from 0.10 to $0.21 \text{ L CH}_4 (\text{g COD}_{\text{total removed}})^{-1}$. The highest removal efficiencies of total COD and dissolved COD were 83.5%. The better performance of two-stage UASB reactors was associated with an adequate proportion of Fe, which favored anaerobic treatment of high OLR brewery wastewater and methane production under stable conditions.

KEYWORDS: Anaerobic treatment, volumetric organic charge, biogas.

1. INTRODUÇÃO

A cerveja possui mercado consumidor crescente em vários países, constituindo um dos principais produtos que compõem o setor de bebidas. China, Estados Unidos e Brasil estão entre os maiores países produtores (BARTH-HAAS, 2019). A produção mundial de cerveja de 2018 foi estimada em 1,9 trilhões de litros (BARTH-HAAS, 2019). Dependendo do processo de produção e uso da água, a produção de 1 litro de cerveja pode gerar de 3 a 11 litros de águas residuárias (CHEN et al., 2016; OLAJIRE, 2012). Assim, somente em 2018, podem ser estimados a geração de 5,7 e 20,9 trilhões de litros de águas residuárias para fabricação de cerveja e valores ainda maiores para 2019.

A produção de cerveja começa com a adição de água ao malte, previamente triturado, seguida do cozimento dessa mistura, extraindo para o líquido a maior parte do extrato do malte. Posteriormente, esse material é filtrado (clarificado), removendo a porção sólida (bagaço de malte) enquanto o líquido (mosto) continua o processo. Além do bagaço de malte, parte do mosto clarificado (MC) com extrato residual dos grãos permanece na panela (KUNZE, 2004). Assim como bagaço de malte, o MC é descartado, embora tenha alto teor de matéria orgânica concentrada altamente biodegradável e que seja, portanto, potencial poluente ambiental (KUNZE, 2004).

A qualidade e a quantidade de efluentes de uma cervejaria variam significativamente, dependendo dos processos realizados (fermentação, filtração e envase, por exemplo) (KANAGACHANDRAN; JAYARATNE; BREW, 2006). Os maiores constituintes das águas residuárias de cervejaria incluem quantidades residuais de matérias-primas, sólidos, açúcares, etanol, levedura, entre outros componentes (FILAUDEAU; BLANPAIN-AVET; DAUFIN, 2006), que requerem tratamentos antes da descarga em corpos d'água (ARANTES et al., 2017; CHEN et al., 2016).

As águas residuárias de cervejaria possuem elevadas concentrações de material orgânico (FILAUDEAU; BLANPAIN-AVET; DAUFIN, 2006), variando de 2000 a 32500 mg L⁻¹ de DQO (ARANTES et al., 2017), que com o descarte inadequado pode causar danos ambientais, fazendo necessário o seu tratamento. Uma alternativa interessante para a redução de materiais orgânicos e a produção de

bioenergia é a digestão anaeróbia, levando em consideração a baixa produção de sólidos, baixo consumo de energia, baixos custos de implantação e operação, tolerância a altas taxas orgânicas (CHERNICHARO, 2007). A produção de biogás a partir de resíduos de cervejaria é uma opção interessante, pois permite a redução do uso de combustível fóssil e diminuir os custos com energia e disposição de resíduos, além de atenuar a emissão de carbono (PANJICKO et al., 2017).

Na digestão anaeróbia das águas residuárias da cervejaria, a hidrólise é considerada uma etapa limitante e diversos estudos têm buscado o avanço da melhoria da hidrólise com pré-tratamentos físicos, termoquímicos e biológicos (GUNES et al., 2019; RAJAGOPAL et al., 2019). A digestão anaeróbia utilizando reatores em dois estágios permite a manutenção de condições ideais para cada grupo de microrganismos envolvidos em cada fase da digestão anaeróbia (MENG et al., 2017; SUÁREZ et al., 2018). Na utilização de reatores em dois estágios, a hidrólise e a maior parte da acidogênese podem ser realizadas no primeiro estágio (acidogênico), enquanto a produção de metano pode ser realizada no segundo estágio (metanogênico) (MÉNDEZ-ACOSTA et al., 2016). Além disso, reduz os efeitos inibitórios de compostos tóxicos em microrganismos metanogênicos, resultando em maior concentração de metano no biogás, melhora a tolerância a altas cargas orgânicas e aumenta a estabilidade (MOTA et al., 2013).

A configuração de reatores anaeróbios em dois estágios tem sido aplicada com sucesso em estudos recentes tratando outros tipos de águas residuárias industriais, como a vinhaça de cana-de-açúcar (SANTANA JUNIOR et al., 2019) e as águas residuárias de processamento de café (SUÁREZ et al., 2018; VILLAMONTOYA et al., 2016). Apesar disso, a maioria dos trabalhos já realizados com o tratamento anaeróbio das águas residuárias de cervejaria foram desenvolvidos em reatores únicos ou precedido um tanque de agitação, com baixa remoção de matéria orgânica e sem coleta de biogás, antes do reator anaeróbio (FIREW et al. 2018).

No processo de digestão anaeróbia, a comunidade de bactérias produtoras de ácidos multiplica-se mais rapidamente do que as bactérias consumidoras, o que pode levar ao acúmulo de ácido, redução no pH e conseqüente inibição da metanogênese (VINTILOIU et. al., 2013). Além disso, estudos anteriores descrevem que a deficiência de elementos traço pode causar inibição de bactérias sintróficas e

arquéias metanogênicas, gerando desequilíbrio nos processos de digestão anaeróbia em condições de elevada COV e baixo TDH (JANKE et al., 2016).

Os microrganismos metanogênicos desempenham um papel essencial na síntese de coenzimas das vias de digestão anaeróbica (VINTILOIU et. al., 2013; SPEECE, 2008). O Fe é um dos aditivos mais importantes para melhoria do desempenho da digestão anaeróbia por ser co-fator chave em muitas atividades enzimáticas, como a oxidoreductase de piruvato ferredoxina, além de ser fundamental na metanogênese atua comoceptor final de elétrons (VINTILOIU et al. 2013). Embora a exigência de elementos traço seja extremamente baixa, a deficiência pode fazer com que as enzimas e coenzimas necessárias para o metabolismo não sejam adequadamente sintetizadas, limitando severamente o crescimento de microrganismos (RAJESHWARI et al., 2000; THANH et al., 2016). E, ainda assim, poucos trabalhos abordam os nutrientes das águas residuárias de cervejaria. Até mesmo a variação do teor de Fe é pouco descrita: SUBRAMANIYAM et al. (2016) utilizando o efluente no cultivo de algas encontraram o Fe em concentração média de $0,034 \text{ mg L}^{-1}$ e ZVAUYA et al. (1994) usaram o tratamento aeróbico e termofílico para o efluente que continha $1,65 \text{ mg L}^{-1}$ de Fe em média. Contudo, ainda são necessários estudos sobre os efeitos da suplementação de Fe no tratamento anaeróbio das águas residuárias de cervejaria.

5. CONCLUSÃO

A suplementação de ferro no tratamento de ARC possui ótimo custo benefício contribuindo para maior estabilidade e produção de biogás de melhor qualidade. O sistema possuiu estabilidade operacional, obtendo uma produção máxima de metano 2,05 e 1,49 L CH₄ (L d)⁻¹ no R1 e R2, respectivamente, com as maiores COV de 30,2 e 13,8 g DQO total (L d)⁻¹ no R1 e R2, respectivamente. As maiores eficiências de remoções de DQO total foram de 70,5 % para o sistema de tratamento R1+R2 e a porcentagem máxima de CH₄ no biogás foram de 41,5 % no R1 e de 60,8 % no R2. Os reatores UASB em dois estágios com a suplementação adequada de Fe favoreceu o tratamento de águas residuárias de cervejaria com elevada COV e produção de metano em condições estáveis.

6. REFERÊNCIAS

- AHN, Y.H.; MIM, K.S.; SPEECE, R.E. Pre-acidification in anaerobic sludge bed process treating brewery wastewater, **Water Research**, v. 35, n. 18, p. 4267-4276. 2001.
- APHA. AWWA. WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21 ed. Washington . **American Public Health Association** , 2005.
- ARANTES , M. K. et al. Treatment of brewery wastewater and its use for biological production of methane and hydrogen. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 42, n. 42, p. 26243–26256, 2017.
- BARTH-HAAS 2019. **The Barth Reports** (2018-2019). Disponível em:<<http://www.barthhaasgroup.com/images/mediacenter/downloads/pdfs/412/barthberic ht20162017en.pdf>> Acesso em: 11/2019.
- 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**, v. 47, n. 3, p. 1–12, 2016.
- 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, p. 371-381, 2017.
- BRUNO, M.; OLIVEIRA, R. A. DE. 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.
- CAVALCANTI, P.F.F. et al.,. Excess sludge discharge frequency for UASB reactors. **Water Sci. Technol.** 40, 211–219, 1999.
- CHEN , H. et al. Brewery wastewater treatment using an anaerobic membrane bioreactor. **Biochemical Engineering Journal**, v. 105, p. 321–331, 15 jan. 2016.
- CHEN , Y.; CHEN G, J. J.; CREAMER, K. S. Inhibition of anaerobic digestion process: A review. **Bioresource Technology**, Barking, v. 99, n.10, p.4044-4064, 2008.
- CHERNICHARO, C. A. DE L. **Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico em águas residuárias**. 2. ed ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG; 2007., 2016.
- CONNAUGHTON, S., et al. Psychrophilic and Mesophilic Anaerobic Digestion of Brewery Effluent : A Comparative Study. **Water Research** 40: 2503–10, 2006.

CRONIN, C.; LO, K.V. Anaerobic treatment of brewery wastewater using UASB reactors seeded with activated sludge, **Bioresource Technology**, v. 64, p. 33-38. 1998

DILALLO, R.; ALBERTSON, O. E. Volatile acids by direct titration. *Journal Water. Pollution Control Federation*, Alexandria, v. 33, n. 4, p. 356-365, 1961.

DRIESSEN, W. J. B. M.; TIELBAARD, M. H.; VEREIJKEN, T. L. F. M. Experience on anaerobic treatment of distillery effluent with the uasb process. **Water Science and Technology**, London, v.30, n.12 , p.193-201,1994.

DUDA, R. M. et al. A balanced microbiota efficiently produces methane in a novel high-rate horizontal anaerobic reactor for the treatment of swine wastewater. **Bioresource technology**, v. 197, p. 152-160, 2015.

ENITAN, A. M. et al. Anaerobic Digestion Model to Enhance Treatment of Brewery Wastewater for Biogas Production Using UASB Reactor. **Environmental Modeling and Assessment**, v. 20, n. 6, p. 673–685, 2015.

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.

EVANGELISTA, A. et al. Improving the energy balance of the industry of ethanol with methane production from vinasse and molasses in two-stage anaerobic reactors. **Journal of Cleaner Production**, 2019.

FILAUDEAU, L.; BLANPAIN-AVET, P.; DAUFIN, G. Water , wastewater and waste management in brewing industries. v. 14, p. 463–471, 2006.

FIREW, T.; DANIEL, F.; SOLOMON, S. S. Performance assessment of wastewater treatment plant of Hawassa St. George Brewery, Hawassa, Ethiopia. **Journal of Applied Sciences and Environmental Management**, v. 22, n. 8, p. 1285, 2018.

FONTENELLE, M. et al. Evaluation of Corrosion Caused by the use of In Natura Biogas in Steam Generator Boilers of Carbon Steel Structural Elements. **Materials Research**, v. 20, n. 3, p. 725–735, 2017.

GUNES, B. et al. Pre-treatments to enhance biogas yield and quality from anaerobic digestion of whiskey distillery and brewery wastes: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 113, n. June, p. 109281, 2019.

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.

KHANAL SK (2008) **Anaerobic biotechnology for bioenergy production**. Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 306p.

- KANAGACHANDRAN, K.; JAYARATNE, R.; BREW, J. I. Utilization Potential of Brewery Waste Water Sludge as an Organic Fertilizer. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 112, n. 2, p. 92–96, 2006.
- KORVING, L.; LOOSDRECHT, M. VAN; WILFERT, P. Effect of Iron on Phosphate Recovery from Sewage Sludge nroduction: The Role of Iron in Sewage Treatment. **Ohtake, H., Tsuneda, S. (Eds.), Phosphorus Recovery and Recycling. Springer Singapore, Singapore**, p. 303–326, 2019.
- KUNZE, W. **Technology brewing and malting**. 3rd. ed. [s.l.] VLB Berlin, Germany, 2004.
- KYTHREOTOU, N, et al. An assessment of the biomass potential of Cyprus for energy production. **Energy**, v. 47, n. 1, p. 253-261, 2012.
- LI, Y. et al. Enhancement of anaerobic methanogenesis at a short hydraulic retention time via bioelectrochemical enrichment of hydrogenotrophic methanogens. **Bioresource technology**, v. 218, p. 505-511, 2016.
- LIN, Q. et al. Bioresource Technology Temperature affects microbial abundance , activity and interactions in anaerobic digestion. **Bioresource Technology**, v. 209, p. 228–236, 2016.
- LIU, Y, et al. Optimization of Anaerobic Acidogenesis by Adding Fe 0 Powder to Enhance Anaerobic Wastewater Treatment. **Chemical Engineering Journal**, 192: 179–85, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2012.03.044>.
- MCCARTY, Perry L. Anaerobic waste treatment fundamentals. **Public works**, v. 95, n. 9, p. 107-112, 1964.
- MÉNDEZ-ACOSTA, H. O. et al. A hybrid cascade control scheme for the VFA and COD regulation in two-stage anaerobic digestion processes. **Bioresource Technology**, v. 218, p. 1195–1202, 2016.
- MENG, X. et al. Adding Fe 0 powder to enhance the anaerobic conversion of propionate to acetate. v. 73, p. 80–85, 2013.
- MENG, X. et al. Methane production and characteristics of the microbial community in a two-stage fixed-bed anaerobic reactor using molasses. **Bioresource Technology**, v. 241, p. 1050–1059, 2017.
- MOTA, V.T. et al. Two-stage anaerobic membrane bioreactor for the treatment of sugarcane vinasse: assessment on biological activity and filtration performance. **Bioresource Technology**, 146, 494–503, 2013. doi:10.1016/j.biortech.2013.07.110
- OLAJIRE, A. A. The brewing industry and environmental challenges. **Journal of Cleaner Production**. p 1–21, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.03.003>,

OLIVEIRA, R. A. DE. **Efeito da concentração de sólidos suspensos do afluente no desempenho e características do lodo de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo tratando águas residuárias de suinocultura.** São Carlos: Escola de Engenharia, USP, 1997.

OLIVEIRA, R. A. de; FORESTI, E. Balanço de massa de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) tratando águas residuárias de suinocultura. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 3, p. 807-820, 2004.

PANJICKO, M. et al. Biogas production from brewery spent grain as a mono-substrate in a two-stage process composed of solid-state anaerobic digestion and granular biomass reactors. **Journal of cleaner production** 166, 519–529, 2017. doi:10.1016/j.jclepro.2017.07.197

PAP, B. et al. Bioresource Technology Temperature-dependent transformation of biogas-producing microbial communities points to the increased importance of hydrogenotrophic methanogenesis under thermophilic operation. **Bioresource Technology**, v. 177, p. 375–380, 2015.

PARAWIRA, W. et al. A study of industrial anaerobic treatment of opaque beer brewery wastewater in a tropical climate using a full-scale UASB reactor seeded with activated sludge, **Process Biochemistry**, v. 40, p. 593-599, 2005.

PRIEST, F. G.; STEWART, G. G. **Handbook of Brewing.** Second ed. [s.l.] Taylor and Francis Ltd., 2006.

RAJAGOPAL, R. et al. Influence of pre-hydrolysis on sewage treatment in an Up-Flow Anaerobic Sludge BLANKET (UASB) reactor: A review. **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 2, p. 3–7, 2019.

RAJESHWARI, K. . et al. State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 4, n. 2, p. 135–156, jun. 2000.

RAO, A.G. et al. pH regulation of alkaline wastewater with carbon dioxide: a case study of treatment of brewery wastewater in UASB reactor coupled with absorber, **Bioresource Technology**, v. 98, p. 21312136. 2007.

REGUEIRO, L.; LEMA, J. M.; CARBALLA, M. Key microbial communities steering the functioning of anaerobic digesters during hydraulic and organic overloading shocks. **Bioresource technology**, v. 197, p. 208-216, 2015.

RIPLEY, L. E.; BOYLE, W. C.; CONVERSE, J. C. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. , **Journal Water Pollution Control Federation**, Malden, v. 58, n. 5, p. 406-411, 1986.

RIERA-VILA, Ignasi et al. Anaerobically-Digested Brewery Wastewater as a Nutrient Solution for Substrate-Based Food Production. **Horticulturae**, v. 5, n. 2, p. 43, 2019.

RODRIGUEZ, L.; VILLASEÑOR, J.; FERNANDEZ, F. J. Influence of the cleaning additives on the methane production from brewery effluents. **Chemical Engineering Journal**, v. 215–216, p. 685–690, 2013.

SANTANA JUNIOR et al. Improving the energy balance of the industry of ethanol with methane production from vinasse and molasses in two-stage anaerobic reactors. **Journal of Cleaner Production**, v. 238, p. 117577, 2019.
doi:10.1016/j.jclepro.2019.07.052

SANTOS, M. S. dos; RIBEIRO, F. de M. Cervejas e refrigerantes. **São Paulo: CETESB**, v. 58, 2005.

SONG, M.; SHIN, S. G.; HWANG, S. Methanogenic population dynamics assessed by real-time quantitative PCR in sludge granule in upflow anaerobic sludge blanket treating swine wastewater. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 1, p. S23-S28, 2010.

SPEECE, R. E. **Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters**. Vanderbilt Archae Press, 1995.

SPEECE, R. E., **Anaerobic Biotechnology and odor/corrosion control for municipalities and industries**, Achaea Press, 2008.

SUÁREZ, W. A. B. et al. Predominance of syntrophic bacteria, Methanosaeta and Methanoculleus in a two-stage up-flow anaerobic sludge blanket reactor treating coffee processing wastewater at high organic loading rate. **Bioresource Technology**, v. 268, n. July, p. 158–168, 2018.

SUBRAMANIYAM, V. et al. Cultivation of Chlorella on brewery wastewater and nanoparticle biosynthesis by its biomass. **Bioresource technology**, v. 211, p. 698-703, 2016.

TAKASHIMA, M., et al. Minimum Requirements for Trace Metals (Iron, Nickel, Cobalt, and Zinc) in Thermophilic and Mesophilic Methane Fermentation from Glucose. **Water Environment Research**, 83(4), 339–346, 2011.
<https://doi.org/10.2175/106143010X12780288628895>

THANH, P. M. et al. Trace metal speciation and bioavailability in anaerobic digestion: A review. **Biotechnology Advances**, v. 34, n. 2, p. 122–136, 2016.

VENKATA, M. S. et al. Firmicutes with iron dependent hydrogenase drive hydrogen production in anaerobic bioreactor using distillery wastewater. **International journal of hydrogen energy**, v. 36, n. 14, p. 8234-8242, 2011.

VINTILOIU, A. et al. Effect of ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) on the bioavailability of trace elements during anaerobic digestion. **Chemical engineering journal**, v. 223, p. 436-441, 2013.

VILLA-MONTOYA, A. C. et al. 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.

XIANGWEN, S. et al. Treatment of brewery wastewater using anaerobic sequencing batch reactor (ASBR). v. 99, p. 3182–3186, 2008a.

XIANGWEN, S. et al. Treatment of brewery wastewater using anaerobic sequencing batch reactor (ASBR). **Bioresource Technology**, v. 99, p. 3182–3186, 2008b.

YAMADA, C. et al. Conductive iron oxides accelerate thermophilic methanogenesis from acetate and propionate. **Journal of bioscience and bioengineering**, v. 119, n. 6, p. 678-682, 2015.

YAN, Y.-G.; TAY, J.-H. Brewery Wastewater Treatment in UASB Reactor at Ambient Temperature. **Journal of Environmental Engineering**, v. 122, n. 6, p. 550–553, 1996.

YANG, G. et al. Enhanced anaerobic digestion of up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) by blast furnace dust (BFD): feasibility and mechanism. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 44, n. 33, p. 17709-17719, 2019.

YU, H.; GU, G. Biomethanation of brewery wastewater using an anaerobic upflow blanket filter, **Journal of Cleaner Production**, v. 4, n. 3-4, p. 219-223. 1996

ZVAUYA, R. et al. Aspects of aerobic thermophilic treatment of Zimbabwean traditional opaque-beer brewery wastewater. **Bioresource technology**, v. 48, n. 3, p. 273-274, 1994.