

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo deste trabalho será disponibilizado somente a partir de 19/07/2019.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS VEGETAIS E
ESGOTO SANITÁRIO EM REATORES HORIZONTAIS DE
LEITO FIXO E ALTA TAXA**

**Luan Vieira Adames
Biólogo**

2017

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS VEGETAIS E
ESGOTO SANITÁRIO EM REATORES HORIZONTAIS DE
LEITO FIXO E ALTA TAXA**

Luan Vieira Adames

Orientador: Prof. Dr. Roberto Alves de Oliveira

Coorientadora: Profa. Dra. Rose Maria Duda

Dissertação 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.

2017

Adames, Luan Vieira

A197c Co-digestão anaeróbia de resíduos vegetais e esgoto sanitário em reatores horizontais de leito fixo e alta taxa / Luan Vieira Adames. -- Jaboticabal, 2017

vii, 71 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017

Orientador: Roberto Alves de Oliveira

Coorientadora: Rose Maria Duda

Banca examinadora: Edson Aparecido Abdul Nour, Valderi Duarte Leite

Bibliografia

1. Metano. 2. Remoção de matéria orgânica. 3. Hidrólise. 4. Coliformes termotolerantes. 5. Recirculação de efluente. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 576.8:661.9

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS VEGETAIS E ESGOTO SANITÁRIO EM REATORES HORIZONTAIS DE LEITO FIXO E ALTA TAXA

AUTOR: LUAN VIEIRA ADAMES

ORIENTADOR: ROBERTO ALVES DE OLIVEIRA

COORDENADORA: ROSE MARIA DUDA

Aprovado 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. VALDEIR DUARTE LEITE
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental / Universidade Estadual da Paraíba / Campina Grande/PB

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

Jaboticabal, 19 de julho de 2017

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Luan Vieira Adames – Filho de Luis Adames e Maria Lucia Vieira Adames, nascido na cidade de Olímpia, no estado de São Paulo, no dia 30 de novembro de 1987. Graduado em licenciatura e bacharelado em Ciências Biológicas pelo Centro Universitário UNIFAFIBE em Bebedouro – SP, em dezembro de 2011. Em 2010 realizou estagio curricular em laboratório de microbiologia para análises de alimentos e ambientais no grupo Guarani Terreos. Foi professor eventual na rede estadual de ensino público. No ano de 2013 foi técnico de laboratório no Centro Universitário UNIFAFIBE. Em março de 2015 iniciou mestrado em Microbiologia Agropecuária, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da UNESP, Câmpus de Jaboticabal - SP.

“O maior erro que um homem pode cometer é sacrificar a sua saúde a qualquer outra vantagem.”

- Arthur Schopenhauer

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais Luis e Lucia pelo apoio emocional e financeiro incondicional que me deram durante toda minha vida acadêmica, e ao meu irmão Junior pelo seu companheirismo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela saúde que tive para enfrentar todos os desafios e sabedoria para agir.

Agradeço aos meus pais por todo carinho e colaboração, e pela paciência que tiveram sempre comigo, e por nunca me deixarem desistir;

Ao Prof. Dr. Roberto Alves de Oliveira por aceitar me orientar, me ajudar construir conhecimentos, ter paciência no meu amadurecimento acadêmico e dedicação ao nosso projeto.

A Prof. Dra. Rose Maria Duda pela coorientação, ajuda com todas as análises e parte laboratorial, correções e colaborações preciosas para a melhoria deste trabalho e sua dedicação ao nosso grupo de pesquisa;

Aos colegas de laboratório Valciney, Aureo, Wilmar, Kleber, Daiana, pelo apoio com as análises, prazos e todo conteúdo, convivência diária, muitas risadas e compartilhamento de felicidades. Agradecimento especial a Daniele que iniciou o mestrado junto comigo e desenvolvemos projetos diferentes, mas sempre juntos, no riso e no choro e no choro com riso;

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, em especial Ailton pela sua enorme colaboração com o experimento, sempre nos ajudando a resolver os problemas que surgem do nada e ao Davi, por sempre dar apoio na parte burocrática;

As amigas que fiz em disciplinas, que viraram minha segunda família em Jaboticabal, sempre sendo minha ancora mostrando o que vale a pena e que a vida é algo muito maior, e que as conquistas não são nada se não tivermos gente do bem do nosso lado para compartilharmos. Por isso muito obrigado Natalia, Roberta, Lana, Vanessa, Fernanda, Paola, Larissa;

Ao Luís Felipe não só pelo apoio emocional, mas também pelo apoio no projeto e por sempre acreditar no melhor que posso fazer.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT	ii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	iii
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE FIGURAS	vi
1. Introdução	1
2. OBJETIVO.....	3
2.1. Objetivo Geral	3
2.2. Objetivos Específicos.....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. Geração de Resíduos	4
3.1.1. Esgotos Sanitários	4
3.1.2. Resíduos Vegetais	6
3.2 Digestão Anaeróbia.....	10
3.2.1. Co-digestão Anaerobia	12
3.3 Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo e Alta Taxa (RAHLF)	14
4. MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1 Configuração dos reatores e condições operacionais	17
4.2. Inoculo e substrato.....	19
4.3 Análises Físico-químicas e Microbiológicas.....	21
4.4 Informações do DNA Genômico.....	23
4.4.1 PCR em Tempo Real - Absoluta (qPCR).....	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
5.1 Temperatura.....	27
5.2 Valores de pH, alcalinidade e ácidos voláteis totais.....	28
5.3 Características do afluente e efluentes e remoção de material orgânico.....	33
5.3.1 Demanda Química de Oxigênio (DQO)	33
5.3.2 Sólidos totais (ST), fixos (SF) e voláteis (SV) e sólidos suspensos totais (SST), fixos (SSF) e voláteis (SSV) no afluente e efluentes dos reatores anaeróbios horizontais.....	39
5.5 Produção e Composição de Biogás	43
5.5.1 Balanço de massa	47

5.6 Lodo	48
5.7 Teor de macronutrientes e micronutrientes nos afluentes e efluentes	50
5.7.1 Nitrogênio e Fósforo	50
5.7.2 Ferro, Zinco, Cobre e Manganês	52
5.7.3 Cálcio, Magnésio, Potássio e Sódio.....	54
5.8 Coliformes totais e termotolerantes.....	56
5.9 Quantificação absoluta da microbiota	59
6. CONCLUSÃO.....	62
7. REFERÊNCIAS.....	63

CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS VEGETAIS E ESGOTO SANITÁRIO EM REATORES HORIZONTAIS DE LEITO FIXO E ALTA TAXA

RESUMO – Avaliou-se o desempenho de quatro reatores anaeróbios horizontais com leito fixo (RAHLF), R1, R2, R3 e R4, instalados em série para remoção de matéria orgânica, coliformes, nutrientes e produção de metano na co-digestão anaeróbia de esgoto sanitário (ES), com diferentes proporções de resíduos vegetais (tomate e banana) (RV). Os RAHLF (R1+ R2+ R3+ R4) foram operados com TDH de 10,9 dias e as COV aplicadas no R1 foram de 3,9; 2,7; 5,5 e 10,4 g DQO_{total} (L d)⁻¹, nos ensaios 1, 2, 3 e 4, respectivamente. A proporção de RV na constituição do afluente foi de 5% nos ensaios 1 e 2 e aumentada para 10% no ensaio 3 e 20% no ensaio 4. A recirculação de efluente utilizada, nos ensaios 3 e 4, proporcionou aumento da alcalinidade parcial média de 0 para 1923 mg L⁻¹ nos afluentes dos reatores, que mantiveram pH estáveis acima 7. A maior produção volumétrica de metano foi registrada no R1, atingindo o valor de até 1,123 L CH₄ (L d)⁻¹ com uma COV 10,36 g DQO (L d)⁻¹ com 20% de RV no afluente. A produção específica de metano foi de até 0,239 e 0,318 L CH₄ g DQO_{total} removida, no R2 e R3, respectivamente e ocorreram com a proporção de 20% de RV no afluente. No sistema de reatores (R1+R2+R3+R4) foram observadas remoções de DQO_{total}, e DQOdiss de 97 e 96%, remoções de até 99,97 e 99,95% para os coliformes totais e termotolerantes e de 80 e 90% para os sólidos totais e voláteis. A PCR quantitativa realizada no lodo do R1 mostrou equilíbrio entre o número de indivíduos dos domínios Bactéria e Arquéias, e a uma quantidade superior das ordens Methanosarcinales e Methanobacteriales em relação a ordem Methanomicrobiales, ambas atuantes nas vias metabólicas hidrogenotrófica e acetoclástica. Nas famílias Methanosarcinaceae foram observadas 1,61x10¹⁰ cópias/gSV, enquanto Methanosaetaceae, teve uma contagem de 2,31x10⁸ cópias/gSV, o que pode ter contribuído para a conversão do acetato a metano.

Palavras-chave: metano, remoção de matéria orgânica, hidrólise, coliformes termotolerantes, recirculação de efluente.

ANAEROBIC CO-DIGESTION OF SANITARY SEWAGE WITH VEGETABLE WASTE IN HIGH-RATE HORIZONTAL REACTORS WITH FIXED BED

ABSTRACT - The performance of four horizontal anaerobic reactors with fixed bed (HARFB), R1, R2, R3 and R4, installed in series for the removal of organic matter, coliforms, nutrients and methane production in the anaerobic co-digestion of sewage (ES) with different proportions of vegetable waste (tomato and banana) (VW). The HARFB (R1 + R2 + R3 + R4) were operated with HDT of 10.9 days and the OLR applied in R1 were of 3.9; 2.7; 5.5 and 10.4 g COD_{total} (L d)⁻¹, in tests 1, 2, 3 and 4, respectively. The ratio of VW in the tributary composition was 5% in test 1 and 2 and increased to 10% in test 3 and 20% in test 4. The effluent recirculation used in test 3 and 4 provided an increase in mean partial alkalinity from 0 to 1923 mg L⁻¹ in the effluent of the reactors, which maintained stable pH above 7.0. The highest volumetric production of methane was recorded in R1, reaching a value up to 1,123 L CH₄ (L d)⁻¹ with a OLR of 10.36 g COD (L d)⁻¹ with 20% VW in the affluent. The specific production of methane was up to 0.239 and 0.318 L CH₄ g DQO_{total} removed, in R2 and R3, respectively and occurred with the proportion of 20% of VW in the tributary. In the reactor system (R1+R2+R3+R4), were observed removals of COD_{total} and COD_{diss} of 97 and 96%, removals of total and thermotolerant coliforms up to 99.97 and 99.95% and removals for total and volatile solids of 80 and 90%. The quantitative PCR performed in the R1 sludge showed a balance between the number of individuals from the Bacteria and Archaea domains, and a larger domain of the Methanosarcinales and Methanobacteriales orders in relation to the Methanomicrobiales order, both active in the hydrogenotrophic and acetoclastic metabolic pathways. In the architectural families, Methanosarcinaceae presented 1.0x10⁹ copies/gVS, while Methanosaetaceae, had a count of 2.0x10⁷ copies/gVS, showing the greater consumption of acetate in the methane conversion.

Key-words: methane, organic matter removal, hydrolysis, thermotolerant coliforms, effluent recirculation.

LISTA DE ABREVIATURAS

AI - Alcalinidade intermediária

AP - Alcalinidade parcial

AT - Alcalinidade total

AVT – Ácidos voláteis totais

COV - Carga orgânica volumétrica

CV - Coeficiente de variação

DQO_{total} - Demanda química de oxigênio total

DQO_{diss} - Demanda química de oxigênio dissolvida

ER - Efluente recirculado

ES - Esgoto sanitário

N-am - Nitrogênio amoniacal

NTK - Nitrogênio total Kjehdal

P-total - Fósforo total

pH - Potencial hidrogeniônico

RV – Resíduo vegetal

ST - Sólidos totais

SV - Sólidos voláteis

SST - Sólidos suspensos totais

SSV - Sólidos suspensos voláteis

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físico-químicas da banana e tomate.....	9
Tabela 2. Estudos de co-digestão com diferentes tipos de reatores, proporções e substratos.....	14
Tabela 3. Valores do diâmetro, comprimento, tempo de detenção hidráulica (TDH), velocidade superficial do líquido (VSL), volume total e útil, nos reatores anaeróbios horizontais (R1, R2, R3 e R4).	19
Tabela 4. Temperatura, proporção de resíduo vegetal (RV), esgoto sanitário (ES) e efluente recirculado (ER) do afluente e carga orgânica volumétrica (COV) aplicada no R1, nos ensaios 1, 2, 3 e 4 para a co-digestão anaeróbia de ES e RV, nos reatores RAHLF, em série.....	20
Tabela 5. Frequências e análises físico-químicas e microbiológicas.....	22
Tabela 6. Oligonucleotídeos específicos	24
Tabela 7. Valores médios das temperaturas do ar máximas, médias e mínimas observadas na Estação Agroclimatológica do Câmpus de Jaboticabal, durante a operação dos reatores anaeróbios horizontais de leito fixo e alta taxa (R1, R2, R3 e R4) instalados em série durante os ensaios de 1 a 4.....	27
Tabela 8. Valores médios de pH, ácidos voláteis totais (AVT), alcalinidade parcial (AP) e relação entre a alcalinidade intermediária e parcial (AI/AP) no afluente e efluentes dos reatores anaeróbios horizontais de leito fixo e alta taxa (R1, R2, R3 e R4) instalados em série durante os ensaios de 1 a 4.....	29
Tabela 9. Valores médios e coeficiente de variação da carga orgânica volumétrica (COV), demanda química de oxigênio total (DQO_{total}) e demanda química de oxigênio dissolvida (DQO_{diss}) no afluente e nos efluentes dos reatores anaeróbios horizontais de leito fixo e alta taxa (R1, R2, R3 e R4) instalados em série, durante os ensaios de 1 a 4.....	33
Tabela 10. Valores médios e coeficiente de variação (c.v.) das eficiências de remoção de demanda química de oxigênio total (DQO_{total}) e dissolvida (DQO_{diss}) nos reatores anaeróbios horizontais de leito fixo e alta taxa (R1, R2, R3 e R4) instalados em série durante os ensaios de 1 a 4.	36
Tabela 11. Valores médios e coeficiente de variação de sólidos totais (ST), voláteis (SV) e fixos (SF), sólidos suspensos totais (SST), voláteis (SSV) e fixos (SSF) no	

afluente e nos efluentes dos reatores anaeróbios horizontais de leito fixo e alta taxa (R1, R2, R3 e R4) instalados em série, durante os ensaios de 1 a 4.....40

Tabela 12. Valores médios das eficiências de remoção de sólidos totais (ST) e voláteis (SV) e sólidos suspensos totais (SST) e voláteis (SSV) e seus respectivos coeficientes de variação (c.v.) nos reatores anaeróbios horizontais de leito fixo e alta taxa (R1, R2, R3 e R4) instalados em série durante os ensaios de 1 a 4.....42

Tabela 13. Valores médios da produção volumétrica e específica de metano, e conteúdo de CH₄% no biogás nos reatores anaeróbios horizontais de leito fixo e alta taxa (R1, R2 e R3) instalados em série durante os ensaios de 1 a 4.....44

Tabela 14. Balanço de Massa: Estimativas do percentual de DQO_{total} removido convertido em lodo e metano47

Tabela 15. Valores médios e coeficiente de variação de nitrogênio amoniacal (N-am), nitrogênio total Kjeldahl (NTK) e fósforo total no efluente dos reatores anaeróbios horizontais de leito fixo e alta taxa (R1, R2, R3 e R4) instalados em série durante os ensaios de 1 a 4.51

Tabela 16. Valores da relação DQO:N:P nos efluentes dos reatores anaeróbios horizontais de leito fixo (R1, R2, R3 e R4) instalados em série nos ensaios de 1 a 452

Tabela 17. Valores médios e coeficiente de variação (c.v. %) das concentrações e remoções no sistema (R1, R2, R3 e R4) de ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn) durante a operação dos reatores anaeróbios horizontais de leito fixo nos ensaios de 1 ao 4.53

Tabela 18. Valores médios e coeficiente de variação (c.v. %) das concentrações e remoções no sistema (R1, R2, R3 e R4) de cálcio (Ca), magnésio (Mg), Potássio (K) e sódio (Na) durante a operação dos reatores anaeróbios horizontais de leito fixo nos ensaios de 1 ao 4.55

Tabela 19. Valores médios de coliformes totais e coliformes termotolerantes no afluente e efluentes, eficiência na remoção no sistema composto pelos reatores anaeróbios horizontais de leito fixo (R1, R2, R3 e R4), instalados em série, durante os ensaios 1 a 4.57

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Decomposição anaeróbia da matéria orgânica em biogás (Adaptado de SCHUNURER; JARVIS (2009)). 11
- Figura 2.** Esquema de um reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) 15
- Figura 3.** Foto dos RAHLF (R1, R2, R3 e R4) instalados em série e seus respectivos gasômetros..... 17
- Figura 4.** Representação esquemática do Sistema de tratamento de quatro reatores anaeróbios horizontais de leito fixo (RAHLF) em série (R1, R2, R3 e R4)..... 18
- Figura 5.** Fotos dos bambus (a) utilizados como meio suporte nos reatores horizontais de leito fixo (R1, R2 e R3) e dos anéis de polipropileno (Bioring®) (b) utilizados como meio suporte nos R4..... 18
- Figura 6.** Esquema de preparo dos Resíduos Vegetais (RV)21
- Figura 7.** Temperaturas mínimas, médias e máximas do ar observadas na Estação Agroclimatológica durante os ensaios 1 a 4.28
- Figura 8.** pH no Afluente e efluentes dos reatores anaeróbios horizontais de leito fixo (R1, R2, R3 e R4), instalados em série nos ensaios de 1 a 4.30
- Figura 9.** Ácidos voláteis totais (AVT) versus alcalinidade parcial (AP) no sistema de tratamento, composto pelos reatores anaeróbios horizontais de leito fixo (RAHLF) (R1, R2, R3 e R4) instalados em série, durante os ensaios 1, 2, 3 e 4.32
- Figura 10.** Valores médios de DQO_{total} (A) e DQO_{diss} (B) e respectivos coeficientes de variação no sistema de tratamento dos reatores anaeróbios horizontais de leito fixo (RAHLF) (R1, R2, R3 e R4) instalados em série, durante os ensaios 1 a 4.35
- Figura 11.** Eficiências médias de remoção de DQO_{total} e respectivos coeficientes de variação no sistema de tratamento dos reatores anaeróbios horizontais de leito fixo (RAHLF)(R1, R2, R3 e R4) instalados em série, durante os ensaios 1 a 4.....37
- Figura 12.** Eficiências médias de remoção de demanda química de oxigênio dissolvida (DQO_{diss}) e respectivos coeficientes de variação no sistema de tratamento dos reatores anaeróbios horizontais de leito fixo (RAHLF) (R1, R2, R3 e R4) instalados em série, durante os ensaios 1 a 4.....38

- Figura 13.** Produção volumétrica de metano versus a carga orgânica volumétrica (COV) no sistema de tratamento dos reatores anaeróbios horizontais de leito fixo (RAHLF) instalados em série; R1, R2 e R3, durante os ensaios de 1 a 4.....43
- Figura 14.** Valores de sólidos voláteis (SV) e relação sólidos voláteis / sólidos totais (SV/ST) nos pontos de coleta (P1 a P6) nos reatores RAHLF (R1, R2, R3 e R4), instalados em série durante os ensaios 1 a 4.49
- Figura 15.** Quantificação absoluta dos micro-organismos com qPCR dos domínios Bacteria e Archaea, três ordens (Methanobacteriales, Methanomicrobiales e Methanosarcinales) e duas famílias (Methanosarcinaceae e Methanosaetaceae) do domínio Achaea, presentes no lodo do R1.61

1. INTRODUÇÃO

Anualmente, são desperdiçados aproximadamente 45% das 1,5 bilhões de toneladas de frutas e vegetais produzidos no mundo (FAO, 2013). Estima-se que mais da metade das frutas e verduras foram desperdiçadas na América Latina, e este é um problema que é enfrentado mundialmente. O Brasil está entre os três maiores produtores de frutas e verduras do mundo, porém aproximadamente 20% da produção é perdida antes de sair da propriedade rural (FAO, 2013; SANTOS; VIEIRA, 2011). No Brasil os vegetais que apresentam maiores perdas na pós colheita são a banana e o tomate, com 60% e 86%, respectivamente (Henz e Moretti, 2005; Lichtemberg, et al., 2008).

Os resíduos de frutas e vegetais se destinados inadequadamente, em virtude da grande quantidade de matéria orgânica e umidade, produzem gases como o metano, que contribuem para o agravamento do efeito estufa (LIN et al., 2011) e o líquido percolado que pode contaminar o solo e a água.

O tratamento de resíduos orgânicos utilizando a digestão anaeróbia é opção para a produção de energia renovável e a reciclagem de nutrientes (DI MARIA et al., 2015). A co-digestão anaeróbia, que é utilização combinada de dois ou mais tipos diferentes de resíduos vem sendo utilizada para aumentar a capacidade de tamponamento dos reatores anaeróbios (XIE et al., 2011) e suprir a deficiência de nutrientes requeridos pelos micro-organismos anaeróbios (WU, 2007), e conseqüentemente, melhorar a produção de metano dos RV. Mas existe a necessidade de se avaliar a disponibilidade e a facilidade de obtenção dos resíduos que serão utilizados na co-digestão anaeróbia.

A utilização de esgotos sanitários, em virtude da disponibilidade de grandes volumes e da proximidade dos centros consumidores, onde ocorrem perdas significativas dos RV, é viável para a co-digestão. De acordo com Pedroza et al. (2010), a produção de esgoto doméstico por habitante no Brasil é de aproximadamente 80 a 200 litros por dia. Segundo pesquisa do Instituto Trata Brasil (2014) apenas 40% do esgoto doméstico gerado no Brasil é tratado. O uso de reatores anaeróbios para o tratamento de esgotos sanitários é viável para a remoção de matéria orgânica, mas não muito explorado para produção de biogás, em virtude

da baixa carga orgânica deste resíduo (Abreu e Zaiat, 2008; Zhai et al., 2015). A co-digestão anaeróbia do esgoto sanitário com os RV poderá proporcionar o aumento da produção de biogás e, conseqüentemente, de energia.

Em virtude da alta quantidade de sólidos nos resíduos vegetais (RV), os reatores anaeróbios operados em batelada e em mistura completa são os mais utilizados (BOUALLAGUI et al., 2009; GANESH et al., 2013; LIU et al., 2012), mas frequentemente são descritos problemas como o acúmulo de ácidos e toxicidade por amônia (MAZARELLI et al., 2016). O processo de digestão anaeróbia é sensível à mudanças de cargas orgânicas volumétricas, pH e composição do substrato (GANESH et al., 2013). A rápida hidrólise na digestão de resíduos ricos em carboidratos como os RV, pode ocasionar o acúmulo de ácidos voláteis totais (AVT) nos reatores anaeróbios e conseqüente inibição da atividade metanogênica (LI et al., 2016; TIAN et al., 2015). A suplementação de alcalinidade através de produtos químicos é alternativa para prover o tamponamento do sistema, evitando variações do pH, porém, esta suplementação gera custos (Romano e Zhang, 2011). Uma alternativa a suplementação química é a recirculação do efluente da saída do reator anaeróbio, aproveitando a alcalinidade gerada sem aumento de custo do tratamento com a utilização de produtos químicos (CAVINATO et al., 2011; ZUO et al., 2013).

Os reatores anaeróbios horizontais de leito fixo (RAHLF) tem sido estudados no tratamento de águas residuárias de suinocultura (DUDA et al., 2015) e também na co-digestão de RV e águas residuárias de suinocultura (MAZARELLI et al., 2016) como uma alternativa aos reatores anaeróbios operados em batelada e em mistura completa. As produções volumétricas de metano de aproximadamente de 1,5 L CH₄ (L d)⁻¹ foram obtidas por Mazarelli et al., (2016) utilizando o TDH de apenas dois dias, ou seja, muito inferior aos descritos na literatura para reatores operados em batelada, com TDH de até 30 dias (RIGGIO; COMINO; ROSSO, 2015), motivando a realização deste estudo.

6. CONCLUSÃO

A co-digestão de RV com ES pode ser uma solução adequada para a obtenção de metano e a introdução de maiores frações de RV resultaram em maiores remoções de DQO e SV, de até 97 e 88%, respectivamente.

A recirculação de efluente aumentou a alcalinidade, proporcionando tamponamento dos reatores, e evitando o acúmulo de AVT e consequente inibição da metanogênese, mas contribuiu negativamente para a remoção de coliformes totais e termotolerantes.

A produção volumétrica de metano no R1 foi de até $0,840 \text{ L CH}_4 (\text{L d})^{-1}$ com as maiores proporções de resíduos vegetais no afluente, de 20%. Também foi observado que para proporções de RV de até 10%, somente o R1 e R2 seriam suficientes para a produção de biogás. Mas analisando-se a qualidade do efluente, quanto a DQO, o R2 e R3 são importantes, principalmente com as maiores frações de RV.

O equilíbrio entre os domínios bactéria e arqueia indica o bom funcionamento do R1. O aumento da concentração de Methanosarcinaceae indicou que a via metabólica acetoclástica foi ativa na produção de metano nos RAHLF.

7. REFERÊNCIAS

- ABETRE. Classificação De Resíduos Sólidos. p. 1–14, 2006.
- ABILA, N. Managing municipal wastes for energy generation in Nigeria. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 37, p. 182–190, set. 2014.
- ABREU, S. B., ZAIAT, M. Desempenho de reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo no tratamento de esgoto sanitário. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 13, n. 2, 2008.
- AKUZAWA, M. et al. Distinctive Responses of Metabolically Active Microbiota to Acidification in a Thermophilic Anaerobic Digester. **Microbial Ecology**, v. 61, n. 3, p. 595–605, 2011.
- AL MAMUN, M. R.; TORII, S. Anaerobic co-digestion of cafeteria, vegetable and fruit wastes for biogas production. **3rd International Conference on Renewable Energy Research and Applications, ICRERA 2014**, v. 3, n. 4, p. 369–374, 2015.
- ALMEIDA, E. I. B. et al. Levantamento de perdas em hortaliças frescas na rede varejista de areia (PB). **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 2, n. 1, p. 53–60, 2012.
- ALTSCHUL, S. F. et al. **Gapped BLAST and PSI-BLAST: A new generation of protein database search programs** *Nucleic Acids Research*, 1997.
- APHA; AWWA; WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21. ed. Washington DC, USA.: American Public Health Association, 2005.
- APPELS, L. et al. Peracetic acid oxidation as an alternative pre-treatment for the anaerobic digestion of waste activated sludge. **Bioresource technology**, v. 102, n. 5, p. 4124–30, mar. 2011.
- ARAGAW, T.; ANDARGIE, M.; GESSESSE, A. Co-digestion of cattle manure with organic kitchen waste to increase biogas production using rumen fluid as inoculums. **International Journal of Physical Sciences**, v. 8, n. 11, p. 443–450, 2013.
- 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, 2016.
- BELLE, A. J. et al. Anaerobic co-digestion of forage radish and dairy manure in complete mix digesters. **Bioresource Technology**, v. 178, n. February, p. 230–237, 2015.
- BONIN, A. S.; BOONE, D. R. The Order Methanobacteriales Characteristics of Methanobacteriales. **Prokaryotes**, v. 3, p. 231–243, 2006.
- BOUALLAGUI, H. et al. Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. **Process Biochemistry**, v. 40, n. 3–4, p. 989–995, mar. 2005.

- BOUALLAGUI, H. et al. Improvement of fruit and vegetable waste anaerobic digestion performance and stability with co-substrates addition. **Journal of environmental management**, v. 90, n. 5, p. 1844–9, abr. 2009.
- CALIJURI, M. L. et al. Tratamento de esgotos sanitários em sistemas reatores UASB/wetlands construídas de fluxo horizontal: eficiência e estabilidade de remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 421–430, 2009.
- CAMPOS, R. P.; VALENTE, J. P.; PEREIRA, W. E. Conservação pós-colheita de banana cv. nanicão climatizada e comercializada em Cuiabá - MT e região. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 172–174, 2003.
- CAVINATO, C. et al. Optimization of two-phase thermophilic anaerobic digestion of biowaste for hydrogen and methane production through reject water recirculation. **Bioresource technology**, v. 102, n. 18, p. 8605–11, set. 2011.
- CHEN, Y.; CHENG, J. J.; CREAMER, K. S. Inhibition of anaerobic digestion process: A review. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 10, p. 4044–4064, 2008.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios Princípios Do Tratamento Biológico Em águas Residuárias**. 2nd. ed. Belo Horizonte - MG: DESA/UFMG, 2007.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. **Lavras: UFLA**, p. 783, 2005.
- CONAMA, (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE). **Resolução 357 de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional**. Brasil, 2005.
- CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE). **Resolução N. 375** Brasil, 2006.
- DAMIANOVIC, M. H. R. Z. **Degradação de pentaclorofenol (PCP) em reatores anaeróbios horizontais de leito fixo (RAHLF)**. [s.l.] Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.
- DAREIOTI, M. A.; KORNAROS, M. Anaerobic mesophilic co-digestion of ensiled sorghum, cheese whey and liquid cow manure in a two-stage CSTR system: Effect of hydraulic retention time. **Bioresource Technology**, v. 175, p. 553–562, 2015.
- DENG, Y. et al. Biogas as a sustainable energy source in China: Regional development strategy application and decision making. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 35, p. 294–303, jul. 2014.
- DI MARIA, F. et al. Amount of energy recoverable from an existing sludge digester with the co-digestion with fruit and vegetable waste at reduced retention time. **Applied Energy**, v. 150, p. 9–14, jul. 2015.
- 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.

- ESPINOZA-ESCALANTE, F. M. et al. Anaerobic digestion of the vinasses from the fermentation of Agave tequilana Weber to tequila: The effect of pH, temperature and hydraulic retention time on the production of hydrogen and methane. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, n. 1, p. 14–20, jan. 2009.
- FAO. **Food and Agriculture Organization** Rome, Italy, 2014. Disponível em: <www.fao.org>
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION). **Global Food Losses and Food Waste**.
- FELIZOLA, C. D. S.; LEITE, V. D.; PRASAD, S. Estudo Do Processo De Digestão Anaeróbia De Resíduos Sólidos Orgânicos E Aproveitamento Do Biogás. **Agropecuária Técnica**, v. 27, n. 1, p. 53–62, 2006.
- FERREIRA, M. D. et al. Qualidade do tomate de mesa em diferentes etapas, da fase de pós-colheita. **Hortic. Bras.**, v. 26, n. 2, p. 231–235, 2008.
- FORESTI, E. **Fundamentos do processo de digestão anaeróbia**. Apresentado em: Taller y Seminario Latinoamericano “Tratamiento anaerobio de aguas residuales”, 3, Montevideo, 25-28 oct. **Anais...Montevideo**: In: Universidad de la República. Tratamiento anaerobio., 1994
- FORESTI, E. et al. Horizontal-Flow Anaerobic Immobilized Sludge (HAIS) reactor for paper industry wastewater treatment. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 12, p. 157–163, 1995.
- GANESH, R. et al. Anaerobic co-digestion of solid waste: Effect of increasing organic loading rates and characterization of the solubilised organic matter. **Bioresource Technology**, v. 130, p. 559–569, 2013.
- GANESH, R. et al. Single-phase and two-phase anaerobic digestion of fruit and vegetable waste: comparison of start-up, reactor stability and process performance. **Waste management (New York, N.Y.)**, v. 34, n. 5, p. 875–885, maio 2014.
- GARCIA, J.-L.; OLLIVIER, B.; WHITMAN, W. B. The Order Methanomicrobiales. **Prokaryotes Vol. 3**, p. 208–230, 2006.
- GEORGE, J. B.; MWANGANGI, B. M. Some factors affecting banana storage and ripening: a case study of banana handling and ripening in Kenya. **Acta Horticulturae**, n. 368, p. 628–633, 1994.
- GHOSH, S. et al. **Pilot-scale gasification of municipal solid wastes by high-rate and two-phase anaerobic digestion (TPAD)**. [s.l.: s.n.], v. 41
- HENZ, G. P.; MORETTI, C. L. M. Tomate: Manejo pós-colheita. **Cultiv. HF**, p. 24–28, 2005.
- IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_%5Bmensal%5D/Fasciculo/2013/lspa_201308.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2017.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Saneamento no Brasil**. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

JAIN, S. et al. A comprehensive review on operating parameters and different pretreatment methodologies for anaerobic digestion of municipal solid waste. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 142–154, dez. 2015.

JANG, H. M. et al. Reactor performance and methanogenic archaea species in thermophilic anaerobic co-digestion of waste activated sludge mixed with food wastewater. **Chemical Engineering Journal**, v. 276, p. 20–28, 2015.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 7ª edição ed. [s.l.] ABES, 2014.

JÚNIOR, A. D. N. F. et al. Thermophilic anaerobic digestion of raw sugarcane vinasse. **Renewable Energy**, v. 89, p. 245–252, 2016.

KARAKASHEV, D. et al. Acetate oxidation is the dominant methanogenic pathway from acetate in the absence of Methanosaetaceae. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 72, n. 7, p. 5138–5141, 2006.

KENDALL, M. M.; BOONE, D. R. The Order Methanosarcinales. **Prokaryotes Vol. 6**, p. 244–256, 2006.

KITINOJA, L.; KADER, A. A. Measuring postharvest losses of fresh fruits and vegetables in developing countries. n. September, p. 1–26, 2015.

KOCH, K. et al. Co-digestion of food waste in a municipal wastewater treatment plant: Comparison of batch tests and full-scale experiences. **Waste Management**, v. 47, p. 28–33, 2016.

KUCZMAN, O. et al. Cassava starch extraction effluent treatment in a one phase tubular horizontal pilot reactor with support medium. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 6, p. 1270–1282, dez. 2014.

LAMEGO NETO, L. G.; COSTA, R. H. R. DA. Tratamento de esgoto sanitário em reator híbrido em bateladas sequenciais: eficiência e estabilidade na remoção de matéria orgânica e nutrientes (N, P). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 411–420, dez. 2011.

LANDINE, R. C. et al. Anaerobic treatment of high strength, high solids potato waste. **Agricultural Wastes**, v. 7, n. 2, p. 111–123, jan. 1983.

LEE, D. H.; ZO, Y. G.; KIM, S. J. Nonradioactive method to study genetic profiles of natural bacterial communities by PCR-single-strand-conformation polymorphism. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 62, n. 9, p. 3112–3120, 1996.

LEITE, V. D. et al. Bioestabilização anaeróbica de resíduos sólidos orgânicos: aspectos quantitativos. **Tecno-Lógica**, v. 18, n. 2, p. 90–96, 2015.

LI, Y. Y. et al. Solid state anaerobic co-digestion of tomato residues with dairy manure and corn stover for biogas production. **Bioresource Technology**, v. 217, p. 50–55, 2016.

LICHTEMBERG, L.A., BOAS, E.V.B.V., DIAS, M.S.C., 2008. Bananicultura irrigada: inovações tecnológicas. **Informe Agropecuário**, p. 92–110, 2008.

LIN, J. et al. Effects of mixture ratio on anaerobic co-digestion with fruit and vegetable waste and food waste of China. **Journal of Environmental Sciences**, v. 23, n. 8, p. 1403–1408, ago. 2011.

LINKE, B. et al. Mesophilic anaerobic co-digestion of cow manure and biogas crops in full scale German biogas plants: A model for calculating the effect of hydraulic retention time and VS crop proportion in the mixture on methane yield from digester and from digestate sto. **Bioresource Technology**, v. 130, p. 689–695, 2013.

LIU, X. et al. Pilot-scale anaerobic co-digestion of municipal biomass waste: Focusing on biogas production and GHG reduction. **Renewable Energy**, v. 44, p. 463–468, 2012.

MAZARELI, R. C. DA S. et al. Anaerobic co-digestion of vegetable waste and swine wastewater in high-rate horizontal reactors with fixed bed. **Waste Management**, v. 52, p. 112–121, 2016.

MAZARELI, R. C. S. **CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS VEGETAIS E ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE SUINOCULTURA EM REATORES HORIZONTAIS DE LEITO FIXO E ALTA TAXA**. [s.l.] Universidade Estadual Paulista - UNESP, 2015.

MCMAHON, K. D. et al. ANAEROBIC CODIGESTION OF MUNICIPAL SOLID WASTE AND BIOSOLIDS UNDER VARIOUS MIXING CONDITIONS } II : MICROBIAL POPULATION DYNAMICS. v. 35, n. 7, p. 1817–1827, 2001.

MEERBURG, F. A. et al. Toward energy-neutral wastewater treatment: a high-rate contact stabilization process to maximally recover sewage organics. **Bioresource technology**, v. 179, p. 373–81, mar. 2015.

MENEZES, J. M. C. Influência da Concentração de Sólidos Totais e Temperatura na Bioestabilização Anaeróbia de Resíduos Sólidos Orgânicos. **Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental), Centro de Ciências e Tecnologias, Universidade Estadual da Paraíba**, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2012.

MOLINUEVO-SALCES, B. et al. Anaerobic co-digestion of livestock and vegetable processing wastes: Fibre degradation and digestate stability. **Waste Management**, v. 33, n. 6, p. 1332–1338, 2013.

NIELSEN, H. B.; ANGELIDAKI, I. Strategies for optimizing recovery of the biogas process following ammonia inhibition. **Bioresource technology**, v. 99, n. 17, p. 7995–8001, nov. 2008.

NIZAMI, A. S.; MURPHY, J. D. What type of digester configurations should be employed to produce biomethane from grass silage? **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 6, p. 1558–1568, 2010.

OLIVERIA, R. A.; 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.

PARAWIRA, W. et al. Anaerobic batch digestion of solid potato waste alone and in

- combination with sugar beet leaves. **Renewable Energy**, v. 29, n. 11, p. 1811–1823, 2004.
- PARK, N. D. et al. Increased biogas production in a wastewater treatment plant by anaerobic co-digestion of fruit and vegetable waste and sewer sludge - A full scale study. **Water Science and Technology**, v. 64, n. 9, p. 1851–1856, 2011.
- PEDROZA, M. et al. Produção e tratamento de lodo de esgoto—uma revisão. **Revista Liberato**, v. 11, n. 16, p. 89–188, 2010.
- RAJASULOCHANA, P.; PREETHY, V. Comparison on efficiency of various techniques in treatment of waste and sewage water – A comprehensive review. **Resource-Efficient Technologies**, v. 2, n. 4, p. 175–184, out. 2016.
- RAMIRES, R. D.; DE OLIVEIRA, R. A. Cod, tss, nutrients and coliforms removals in uasb reactors in two stages treating swine wastewater. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 6, 2014.
- RAMIRES, R. D. R. D.; OLIVEIRA, R. A. DE; DE OLIVEIRA, R. A. COD, TSS, nutrients and coliforms removals in UASB reactors in two stages treating swine wastewater. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 6, p. 1256–1269, 2014.
- RIAÑO, B.; MOLINUEVO, B.; GARCÍA-GONZÁLEZ, M. C. Potential for methane production from anaerobic co-digestion of swine manure with winery wastewater. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 5, p. 4131–4136, 2011.
- RIGGIO, V.; COMINO, E.; ROSSO, M. Energy production from anaerobic co-digestion processing of cow slurry, olive pomace and apple pulp. **Renewable Energy**, v. 83, p. 1043–1049, 2015.
- RIPLEY, L. E.; BOYLE, W. C.; CONVERSE, J. C. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. **Journal of Water Pollution**, v. 58, p. 406–411, 1986.
- ROMANO, R. T.; ZHANG, R. Anaerobic digestion of onion residuals using a mesophilic Anaerobic Phased Solids Digester. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 10, p. 4174–4179, out. 2011.
- SALSALI, H. R.; PARKER, W. J.; SATTAR, S. A. Impact of concentration, temperature, and pH on inactivation of *Salmonella* spp. by volatile fatty acids in anaerobic digestion. **Canadian journal of microbiology**, v. 52, n. 4, p. 279–286, 2006.
- SANTOS, K.; VIEIRA, W. Destino final: o lixo. Comunicado especial: Abastecer Brasil. **Associação Brasileira das Centrais de Abastecimento**, n. 5, p. 8–12, 2011.
- SANTOS, A. C. DOS; OLIVEIRA, R. A. Tratamento De Águas Residuárias De Suinocultura Em Reatores Anaeróbios Horizontais Seguidos De Reator Aeróbio Em Batelada Sequencial. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 4, p. 781–794, 2011.
- SARTI, A. **Avaliação de Desempenho do Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF) no Tratamento de Substrato Sintético Simulando Esgoto Sanitário**. [s.l.] Universidade de São Paulo, São Carlos - SP, 1998.

SCHUNURER, A.; JARVIS, A. Microbiological Handbook for Biogas Plants. **Waste Management**, p. 138, 2009.

SHARMA, R.; OBEROI, H. S.; DHILLON, G. S. **Chapter 2 – Fruit and Vegetable Processing Waste: Renewable Feed Stocks for Enzyme Production**. [s.l.] Elsevier Inc., 2016.

SHI, X.-S. et al. Modeling of the methane production and pH value during the anaerobic co-digestion of dairy manure and spent mushroom substrate. **Chemical Engineering Journal**, v. 244, p. 258–263, maio 2014.

SILVA, S. R.; AGUIAR, M. M. DE; MENDONÇA, A. S. F. Correlação entre DBO e DQO em esgotos domésticos para a região da Grande Vitória - ES. **XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, n. 1, p. 981–990, 1997.

SINGH, S. P.; PRERNA, P. Review of recent advances in anaerobic packed-bed biogas reactors. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 6–7, p. 1569–1575, 2009.

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 SUPPL., p. S23–S28, 2010.

SOUZA, A. T.; PEIXOTO, A. N.; WACHHOLZ, D. **Banana (Estudo de economia e mercado de produtos agrícolas,2)**. Florianópolis - SC: [s.n.].

SPEECE, R. E. **Anaerobic Biotechnology and Odor/Corrosion Control for Municipalities and Industries**. Nashville, Tennessee: Archae Press, 2008.

TIAN, H. et al. Anaerobic co-digestion of kitchen waste and pig manure with different mixing ratios. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 120, n. 1, p. 51–57, 2015.

UÇKUN KIRAN, E. et al. Production of biogas via anaerobic digestion. In: **Handbook of Biofuels Production**. [s.l.] Elsevier, 2016. p. 259–301.

VALDERI, D. L. et al. Tratamento de resíduos sólidos de centrais de abastecimento e feiras livres em reator anaeróbio de batelada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 318–322, 2003.

VAN HAAMDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente**. Campina Grande - PB: Epgraf, 1994.

VAN HAANDEL, A.; LETTINGA, G. **Anaerobic Sewage Treatment: A Practical Guide for Regions with a Hot Climate**. Chichester, UK: John Wiley and Sons, 1994.

VERSTRAETE, W.; VAN DE CAVEYE, P.; DIAMANTIS, V. Maximum use of resources present in domestic “used water”. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 23, p. 5537–5545, 2009.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Princípios básicos do tratamento de esgotos**. [s.l.] Universidade Federal de

Minas Gerais, 1996.

WEILAND, P. Biogas production: Current state and perspectives. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 85, n. 4, p. 849–860, 2010.

WELLINGER, A. Biogas: Simply the best. **European Biogas Association**, p. 1–24, 2011.

WPTC (THE WORLD PROCESSING TOMATO COUNCIL). **Tomato World Production Estimate as of 27 October 2016**. Disponível em: <[http://www.wptc.to/pdf/releases/WPTC World Production estimate as of 27 October 2016.pdf](http://www.wptc.to/pdf/releases/WPTC%20World%20Production%20estimate%20as%20of%2027%20October%202016.pdf)>. Acesso em: 15 jan. 2017.

WU, W. Anaerobic co-digestion of biomass for methane production: recent research achievements. **Optimization**, p. 1–10, 2007.

WU, Y. et al. A new method of two-phase anaerobic digestion for fruit and vegetable waste treatment. **Bioresource technology**, v. 211, p. 16–23, jul. 2016.

XIE, S. et al. Effect of pig manure to grass silage ratio on methane production in batch anaerobic co-digestion of concentrated pig manure and grass silage. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 10, p. 5728–5733, 2011.

YAO, Y. et al. Water free anaerobic co-digestion of vegetable processing waste with cattle slurry for methane production at high total solid content. **Energy**, v. 74, n. C, p. 309–313, 2014.

YUAN, J. et al. Shifts in methanogen community structure and function across a coastal marsh transect: effects of exotic *Spartina alterniflora* invasion. **Scientific reports**, v. 6, n. October 2015, p. 18777, 2016.

ZACARIAS SYLVESTRE, S. H.; LUX HOPPE, E. G.; DE OLIVEIRA, R. A. Removal of total coliforms, thermotolerant coliforms, and helminth eggs in swine production wastewater treated in anaerobic and aerobic reactors. **International Journal of Microbiology**, v. 2014, 2014.

ZAIAT, M. et al. Rational Basis for Designing Horizontal-Flow Anaerobic Immobilized Sludge (HAIS) Reactor for Wastewater Treatment. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 14, n. 1, p. 251–262, mar. 1997.

ZAIAT, M. **Desenvolvimento e análise de biorreatores anaeróbio contendo células imobilizadas para o tratamento de águas residuárias: reator anaeróbio horizontal de leito fixo e reator anaeróbio operado em bateladas sequenciais**. [s.l.] Universidade de São Paulo, São Carlos - SP, 2003.

ZAIAT, M.; CABRAL, A. K. A.; FORESTI, E. Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo Para Tratamento de Águas Residuárias: Concepção e Avaliação Preliminar de Desempenho. **Revista Brasileira de Engenharia**, v. 11, n. 2, p. 33–42, 1994.

ZAIAT, M.; PASSIG, F. H.; FORESTI, E. Aplicação De Reator Anaeróbio Horizontal De Leito Fixo Para Tratamento De Esgoto Doméstico – Parte 1: Modelo Matemático E Critérios Para Projeto. **Gestión ambiental en el siglo XXI**, v. XXI, p. 1–14, 1998.

ZHAI, N. et al. Effect of initial pH on anaerobic co-digestion of kitchen waste and cow

manure. **Waste Management**, v. 38, p. 126–131, 2015.

ZHANG, C. et al. Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 38, p. 383–392, out. 2014.

ZHANG, X. et al. Influence of sewage treatment on China's energy consumption and economy and its performances. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 49, p. 1009–1018, set. 2015.

ZHAO, Y. et al. The effect of mixing intensity on the performance and microbial dynamics of a single vertical reactor integrating acidogenic and methanogenic phases in lignocellulosic biomass digestion. **Bioresource Technology**, v. 238, p. 542–551, 2017.

ZHENG, Z. et al. Effect of dairy manure to switchgrass co-digestion ratio on methane production and the bacterial community in batch anaerobic digestion. **Applied Energy**, v. 151, p. 249–257, 2015.

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.