

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 28/02/2026.

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

**TRATAMENTO DE EFLUENTES DA
SUINOCULTURA EM REATORES UASB:
AUTOINOCULAÇÃO, USO DE BIOCHAR E
QUANTIFICAÇÃO DE ENTEROBACTÉRIAS
RESISTENTES A AMPICILINA**

Gabriela Arkchimor Paes Santos

Médica veterinária

2024

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

**TRATAMENTO DE EFLUENTES DA
SUINOCULTURA EM REATORES UASB:
AUTOINOCULAÇÃO, USO DE BIOCHAR E
QUANTIFICAÇÃO DE ENTEROBACTÉRIAS
RESISTENTES A AMPICILINA**

Gabriela Arkchimor Paes Santos

Orientador: Prof. Dr. Roberto Alves de Oliveira

Coorientadora: Profa. Dra. Marita Vedovelli Cardozo

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.

2024

S237t

Santos, Gabriela Arkchimor Paes

Tratamento de efluentes da suinocultura em reatores UASB: autoinoculação,
uso de biochar e quantificação de enterobactérias resistentes a ampicilina /
Gabriela Arkchimor Paes Santos. -- Jaboticabal, 2024

91 p. : tabs., fotos

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

Orientador: Roberto Alves de Oliveira

Coorientadora: Marita Vedovelli Cardozo

1. Tratamento anaeróbio mesofílico. 2. Resistência em microrganismos. 3.
Arquéias metanogênicas. 4. Esterco Suíno. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: TRATAMENTO DE EFLUENTES DA SUINOCULTURA EM REATORES UASB: AUTOINOCULAÇÃO, USO DE BIOCHAR E QUANTIFICAÇÃO DE ENTEROBACTÉRIAS RESISTENTES A AMPICILINA

AUTORA: GABRIELA ARKCHIMOR PAES SANTOS

ORIENTADOR: ROBERTO ALVES DE OLIVEIRA

COORIENTADORA: MARITA VEDOVELLI CARDOZO

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

Prof. Dr. ROBERTO ALVES DE OLIVEIRA (Participação Presencial)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas / FCAV UNESP Jaboticabal

Prof. Dr. LUCIANO DOS SANTOS RODRIGUES (Participação Presencial)
Departamento de Medicina Veterinária / Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) - Belo Horizonte/MG

Pesquisador Dr. ESTEVÃO URBINATI (Participação Presencial)
CATI - Coordenadoria de Assistência Técnica Integral / Franca/SP

Jaboticabal, 28 de fevereiro de 2024

DADOS CURRÍCULARES DO AUTOR

Gabriela Arkchimor Paes Santos, nascida em Jundiaí, no Estado de São Paulo, no dia 05 de agosto de 1996. Com formações de nível técnico em Agropecuária, pelo Colégio Agrícola José Bonifácio da Universidade Estadual Paulista - UNESP, Câmpus de Jaboticabal, SP, no período de 2011 a 2013 e em Farmácia, pela ETEC Deputado Salim Sedeh em Leme, SP, no período de 2019 a 2020. Obteve o título de Bacharel em Medicina Veterinária em dezembro de 2020 pela Faculdade Anhanguera de Leme, SP. Em janeiro de 2021 iniciou as atividades no Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agropecuária, em nível de mestrado, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Câmpus de Jaboticabal, SP, no Laboratório de Saneamento Ambiental do Departamento de Engenharia e Ciências Exatas, atuando na área de tratamento anaeróbio e recuperação de recursos de resíduos orgânicos.

AGRADECIMENTOS

À Deus e a minha família.

Ao Professor Dr. Roberto Alves de Oliveira, à Professora Dra. Rose Maria Duda e a Professora Dra. Marita Vedovelli Cardozo pela oportunidade de realização do curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agropecuária, pela orientação e acompanhamento durante todo o experimento.

À 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 Seção de Pós-Graduação; aos professores do Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agropecuária da UNESP – FCAV e aos funcionários do Setor de Engenharia Rural do Departamento de Engenharia e Ciências Exatas.

À CAPES pela concessão da bolsa.

À FAPESP, processo:2019/19443-6.

A todos pela disposição, paciência e empenho para que esta pesquisa fosse realizada.

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

SUMÁRIO

Página

SUMÁRIO	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
LISTA DE ABREVIATURAS	iv
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	7
2.1 Objetivos Gerais	7
2.2 Objetivos Específicos	7
3. REVISÃO DE LITERATURA	8
3.1 Aspectos gerais da suinocultura	8
3.2 Problemas ambientais dos efluentes da suinocultura	10
3.3 Bactérias resistentes a antimicrobianos nos efluentes da suinocultura	12
3.4 Tratamento anaeróbio de efluentes da suinocultura	16
3.5 Partida de reatores UASB e formação do lodo	25
3.6 Microbiologia dos reatores UASB	32
3.7 Aditivos na digestão anaeróbia: Biochar de eucalipto	33
4. MATERIAL E MÉTODOS	37
4.1 Local	37
4.2 Instalação Experimental	37
4.3 Afluente	39
4.3.1 Adição de Bichar	39
4.4 Descrição da operação do sistema de tratamento	40
4.5 Exames físicos e determinações de constituintes orgânicos e inorgânicos não metálicos nos afluentes, efluentes, lodo e biogás: amostragem, frequência e metodologias.	41
4.6 Produção de biogás	42
4.7 Microscopia eletrônica por varredura (MEV)	43
4.8 Quantificação Bacteriana	44
4.9 Biologia molecular	30
4.10 Análise estatística e forma de apresentação dos resultados	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
5.1 Demanda química de oxigênio, Sólidos Suspensos Totais e Voláteis e Produção de biogás	47
5.2 pH, alcalinidade e ácidos voláteis totais	53
5.3 Macro e micronutrientes	56
5.4 Lodo	61
5.5 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	63
5.6 Quantificação Bacteriana	65
5.7 Diversidade Microbiana	70
CONCLUSÃO	78
REFERÊNCIAS	79

TRATAMENTO DE EFLUENTES DA SUINOCULTURA EM REATORES UASB: AUTOINOCULAÇÃO, USO DE BIOCHAR, E QUANTIFICAÇÃO DE ENTEROBACTÉRIAS RESISTENTES A AMPICILINA

RESUMO – Avaliou-se o desempenho de dois reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) instalados em série, autoinoculados e posteriormente suplementados com biochar, para o tratamento de águas residuárias da suinocultura. Os reatores UASB, em série, foram construídos em escala de bancada, com volumes de 13,7 e 10,6 L, para o primeiro (R1) e segundo (R2), respectivamente. O sistema (R1 + R2) foi operado por 529 dias, divididos em quatro fases, com o aumento gradual das cargas orgânicas volumétrica (COV) e o uso de biochar adicionado ao afluyente na última fase. Os tempos de detenção hidráulica (TDH) foram de 24,0 h no R1 e 18,7 h no R2. As COV médias aplicadas foram de 2, 8, 19 e 21 g DQO_{total} (L d)⁻¹ no R1, durante as fases 1, 2, 3 e 4 respectivamente. Nestas condições, o objetivo foi avaliar a produção de metano, a qualidade do efluente e a persistência de enterobactérias resistentes a ampicilina durante a partida e em condições de estabilidade. Verificaram-se variações de pH de 7,4 a 8,0 nos efluentes dos reatores UASB. Os valores das concentrações de ácidos voláteis totais variaram de 57 a 1140 mg L⁻¹ no R1 e 44 a 470 mg L⁻¹ no R2. Foram obtidas eficiências de remoção de DQO_{total} em torno de 80% com o aumento da COV, nas fases 2 a 4. A produção de biogás foi observada no R1 a partir do 91º dia de operação do sistema, o percentual de metano variou de 70 até 79% e a produção volumétrica média aumentou significativamente de 0,21 para 0,66 e alcançou 1,01 e 1,08 L CH₄ (L d)⁻¹, durante as fases 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Houve a detecção e quantificação de enterobactérias resistentes a ampicilina durante as quatro fases de operação do sistema. Nas fases 1 e 2, somente no lodo do R1 com contagem da ordem de 10⁴ UFC mL⁻¹. Na fase 3, com o aumento mais acentuado da COV, ocorreu a detecção nos efluentes do sistema, com concentração da ordem de 10⁴ UFC mL⁻¹. E na fase 4, com a manutenção de COV e a adição do biochar, permaneceram no afluyente e efluentes; retornaram ao lodo do R1, mas com redução de 1 log 10 UFC mL⁻¹ na contagem, e surgiram no lodo do R2 com contagem da ordem de 10³ UFC mL⁻¹. Portanto, os resultados indicam que a autoinoculação dos reatores UASB foi adequada, ocorrendo a partida num tempo relativamente curto, permitindo a obtenção de altas eficiências de remoção de DQO_{total}, com aumento significativo da produção de metano acompanhando os acréscimos de COV até 20 g DQO_{total} (L d)⁻¹. O uso do biochar não melhorou significativamente o desempenho do sistema. O aumento do tempo de operação, da concentração de DQO_{total} do afluyente e, conseqüentemente, da COV provocaram, inicialmente, a acumulação de enterobactérias resistentes a ampicilina no lodo e, posteriormente, o seu arraste com os efluentes dos reatores, indicando a necessidade de medidas adicionais para o controle da disseminação de bactérias resistentes a antibióticos a partir de efluentes da suinocultura.

Palavras-chave: biogás, digestão anaeróbia, metano, resistência a antibiótico.

SWINE WASTEWATER TREATMENT IN UASB REACTORS: SELF-INOCULATION, USE OF BIOCHAR, AND QUANTIFICATION OF AMPICILLIN-RESISTANT ENTEROBACTERIA

ABSTRACT – The performance of two anaerobic upflow reactors with sludge blanket (UASB) installed in series, autoinoculated and subsequently supplemented with biochar, for the treatment of wastewater from pig farming was evaluated. The UASB reactors, in series, were built on a bench scale, with volumes of 13.7 and 10.6 L, for the first (R1) and second (R2), respectively. The system (R1 + R2) was operated for 529 days, divided into four phases, with a gradual increase in volumetric organic loads (VOC) and the use of biochar added to the influent in the last phase. The hydraulic detention times (TDH) were 24.0 h in R1 and 18.7 h in R2. The average COV applied were 2, 8, 19 and 21 g COD_{total} (L d)⁻¹ in R1, during phases 1, 2, 3 and 4 respectively. Under these conditions, the objective was to evaluate methane production, effluent quality and the quantity of ampicillin-resistant enterobacteria during startup and in stable conditions. There were pH variations of 7.4 to 8.0 in the effluents from the UASB reactors. The values of total volatile acid concentrations were 57 to 1140 mg L⁻¹ in R1 and 44 to 470 mg L⁻¹ in R2. Total COD removal efficiencies of around 80% were obtained with the increase in VOC, in phases 2 to 4. Biogas production was observed in R1 from the 91st day of system operation, the percentage of methane varied from 70 to 79% and the volumetric production increased significantly from 0.21 to 0.66 and reached 1.01 and 1.08 L CH₄ (L d)⁻¹, during phases 1, 2, 3 and 4, respectively. Enterobacteriaceae resistant to ampicillin were detected and quantified during the four phases of the system's operation. In phases 1 and 2, only in R1 sludge with a count of around 10⁴ UFC mL⁻¹. In phase 3, with the most pronounced increase in VOC, detection occurred in the system's influent and effluents, with a concentration of around 10⁴ CFU mL⁻¹. And in phase 4, with the maintenance of VOC and the addition of biochar, they remained in the influent and effluents; they returned to the R1 sludge, but with a reduction of 1 log 10 CFU mL⁻¹ in the count, and appeared in the R2 sludge with a count of the order of 10³ CFU mL⁻¹. Therefore, the results indicate that the autoinoculation of the UASB reactors was adequate, with startup taking place in a relatively short time, allowing high COD removal efficiencies to be obtained, with a significant increase in methane production accompanying the additions of VOC up to 20 g COD total (L d)⁻¹. The use of biochar did not significantly improve system performance. The increase in operating time, total COD concentration of the influent and, consequently, VOC initially caused the accumulation of ampicillin-resistant enterobacteria in the sludge and, subsequently, their dragging with the reactor effluents, indicating the need for measures additional measures to control the spread of antibiotic-resistant bacteria from swine effluents.

Keywords: antibiotic resistant bacteria, anaerobic digestion, biogas, methane.

LISTA DE ABREVIATURAS

ARG - Genes resistentes a antibióticos

Al - Alcalinidade intermediária

AP - Alcalinidade parcial

AT - Alcalinidade total

AVT - Ácidos voláteis totais

AGV - Ácidos graxos voláteis

COD - Chemical oxygen demand

COV - Carga orgânica volumétrica

DA - Digestão anaeróbia

DQO - Demanda química de oxigênio

N-am - Nitrogênio amoniacal

NTK - Nitrogênio Total Kjeldahl

P-total - Fósforo total

PEM - Produção específica de metano

pH - Potencial hidrogeniônico

PMV - Produção volumétrica de metano

SST - Sólidos suspensos totais

SSV – Sólidos suspensos voláteis

ST - Sólidos totais

SV - Sólidos voláteis

TDH - Tempo de detenção hidráulica

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Produção média diária de dejetos (kg) por animal por fase.	11
Tabela 2. Características físicas e químicas (em mg L ⁻¹ , exceto o pH) de dejetos brutos de suínos na fase de terminação.....	11
Tabela 3. Período de operação do sistema composto pelos reatores UASB em série e fases de operação.....	40
Tabela 4. Exames físicos e determinações de constituintes orgânicos e inorgânicos realizados no afluente e efluentes do sistema composto pelos reatores anaeróbios R1 e R2.	42
Tabela 5. Valores médios de COV, DQO _{total} , DQO _{diss} , e relação SSV/SST do afluente e do efluente do sistema de tratamento anaeróbio, em dois estágios (R1 e R2), durante as fases 1; 2; 3 e 4.	47
Tabela 6. Tabela de parâmetros operacionais de pesquisas com reatores anaeróbios tratando águas residuárias da suinocultura.	49
Tabela 7. Valores médios de porcentagem de metano; produção volumétrica de metano; produção específica de metano e energia produzida no reator R1 durante as fases 1; 2; 3 e 4.....	50
Tabela 8. Valores médios de remoção de DQO _{total} , DQO _{diss} , SST e SSV do sistema de tratamento anaeróbio, em dois estágios (R1 e R2), nas fases 1; 2; 3 e 4.	53
Tabela 9. Valores médios de pH, alcalinidade parcial (AP), intermediária (AI) e total (AT); relação AI/AP; ácidos voláteis totais (AVT) e relação AVT/AT, durante as fases 1; 2; 3 e 4 no afluente, R1 e R2.....	54
Tabela 10. Valores médios de NTK e N-am. no afluente, R1 e R2, durante as fases 1, 2, 3 e 4.	57
Tabela 11. Valores médios de P-total (Fósforo total) e ortofosfato, nos reatores R1 e R2, durante as fases 1, 2, 3 e 4.	58
Tabela 12. Valores médios das concentrações (em mg L ⁻¹) e coeficientes de variação (C.V.) de Co, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, K, Na, Zn e Ca durante as fases 1, 2 e 3 no afluente, e efluentes dos reatores R1 e R2.	60

Tabela 13. Valores médios de Sólidos Totais (ST) e Sólidos Voláteis (SV) Sólidos Fixos (SF) (valores em gL^{-1}) e relação SV/ST nos reatores durante as fases 1, 2, 3 e 4, nos pontos 1, 2, 3 e 4 dos reatores R1 e R2...	62
Tabela 14. Médias da população de enterobactérias controle e resistentes à diversas concentrações de ampicilina (AMP) nos afluentes, efluentes e lodo dos reatores UASB tratando águas residuárias de suinocultura nas fases 1 a 4.....	67
Tabela 15. Médias da população de enterobactérias controle e resistentes à diversas concentrações de ampicilina (AMP) nos afluentes, efluentes e lodo dos reatores UASB tratando águas residuárias de suinocultura nas fases 1 a 4.	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema ilustrado representando as fases da digestão anaeróbia de matéria orgânica complexa. Fonte: CASSINI et al. (2014).	19
Figura 2. Desenho esquemático de um reator UASB.	23
Figura 3. Representação esquemática do sistema de tratamento composto por reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB), em série (R1 e R2). P1, P2, P3 e P4: pontos de coleta de lodo.	38
Figura 4. Foto dos reatores R1 e R2 dentro da cabine de aquecimento para controle da temperatura a 35°C: 1- tanque do afluente, 2 – reator UASB (R1), 3 – reator UASB (R2), 4 – tanque de efluente, 5 – gasômetro; 6 – selo hidráulico e 7 – sistema de aquecimento.	38
Figura 5. Valores de carga orgânica volumétrica (COV); demanda química de oxigênio total (DQO _{total}) e produção volumétrica de metano (PVM).	49
Figura 6. Valores de pH, alcalinidade parcial (AP), intermediária (AI), total (AT), relação AI/ AP e Ácidos voláteis totais (AVT) no afluente e efluentes do sistema composto pelos reatores anaeróbios R1 e R2, durante as fases 1, 2, 3 e 4.	57
Figura 7. Aspecto macroscópico do lodo anaeróbio do reator R1, durante a fase 4.	64
Figura 8. Imagem de microscopia eletrônica de varredura (MEV) do lodo durante a fase 4.	64
Figura 9. Imagem de microscopia eletrônica de varredura (MVE) do Biochar de eucalipto utilizado no experimento.	65
Figura 10. Abundância relativa (%) dos filotaxas de Bactérias e arqueias no Reator 1 (R1), durante as fases 1 (T1); 2 (T2); 3 (T3) e 4 (T4) respectivamente.	72
Figura 11. Abundância relativa (%) dos gêneros de bactérias identificadas no reator 1 (R1) durante as fases 1 (T1); 2 (T2); 3 (T3) e 4 (T4) respectivamente.	73

Figura 12. Abundância relativa (%) dos gêneros de arqueias identificadas no reator 1 (R1) durante as fases 1 (T1); 2 (T2); 3 (T3) e 4 (T4) respectivamente.....	74
---	----

1 INTRODUÇÃO

A indústria pecuária contribui significativamente para a segurança alimentar global, fornecendo às pessoas aproximadamente 39% da sua proteína e 18% da sua ingestão calórica. Entre as proteínas de origem animal, a carne suína é um dos tipos de carne mais consumidos globalmente e representa a maior parcela da carne produzida na Europa e na Ásia (GISLASON et al., 2023).

Em números totais, é estimado que a produção de carne suína, cresça 9,3% até o ano de 2028 (TZANIDAKIS et al., 2021). Nesse sentido, são consumidas aproximadamente 100 milhões de toneladas dessa proteína por ano (DINNEBIER et al., 2021). O Brasil, está no 4º lugar do ranking mundial na produção de suínos, sendo um importante exportador. Em 2022, o montante nacional chegou a 44.393.930 cabeças. O abate de suínos somou 14,62 milhões de cabeças no 3º trimestre de 2023 (IBGE, 2023). De acordo com a ABPA (Associação Brasileira de Proteína Animal) as projeções para a produção de carne suína para o ano de 2024 é de 1% de aumento em relação ao ano anterior, a produção é estimada em até 5,15 milhões de toneladas. Além disso, a estimativa é que o consumo da carne suína per capita, irá se manter em cerca de 18 quilos por habitante (ABPA, 2023).

A suinocultura é uma atividade de grande importância econômica. A produção desses animais em granjas comerciais é relativamente rápida, geralmente, a produção de suínos é dividida em três fases: fase de creche, na qual os suínos permanecem em média 42 dias; fase de crescimento, onde eles ficam de 63 a 110 dias de vida e a fase de terminação que inicia aos 110 dias de vida, até o abate. Após o crescimento, os suínos atingem a massa corporal média de 70 kg e ao final da fase de terminação, devem chegar entre 100 e 120 kg. A suinocultura atual trabalha, em geral, de modo completamente confinado (ABCS, 2011).

O sistema de produção de suínos pode ser realizado de maneira extensiva, semi-extensiva e intensiva. Os sistemas intensivos utilizam tecnologias modernas e potencializam a produção animal. Dessa forma, o sistema intensivo de criação de suínos é predominante. Uma vez que, a intensificação da produção tem otimizado as pequenas áreas para a criação animal. Porém, a transição do sistema extensivo de criação para o intensivo induziu grandes mudanças (TZANIDAKIS et al., 2021).

Os sistemas intensivos com alta densidade animal causam muitos problemas ambientais, sendo que os mais desafiadores estão associados ao aumento substancial e a elevada concentração da produção de dejetos (XU; ADAIR; DESHUSSES, 2016). Além do impacto ambiental, o manejo inadequado dos dejetos de suínos pode causar odores, proliferação de insetos transmissores de doenças, além de problemas sanitários, em virtude da contaminação da água e do solo (SECCO et al., 2020).

Dessa forma, conforme a produção de suínos aumenta, a geração de efluentes da suinocultura continuará sendo elevada. Nas granjas produtoras de suínos, são produzidas grandes quantidades de águas residuárias, as quais são compostas pela urina, fezes, água de lavagem e alimentos (DINNEBIER et al., 2021). Elevado número desses animais estão em confinamentos com o manejo dos dejetos com uso intensivo de água. Nessas condições, o volume de água residual suína é de aproximadamente 7 a 15 L (suíno d) $^{-1}$ com DQO de 25 a 50 g L $^{-1}$ (DUDA et al., 2015). Esses valores são diretamente influenciados pela fase de criação animal. A quantidade de poluentes nas águas residuárias da suinocultura tem grandes variações, principalmente devido a quantidade de água utilizada durante a limpeza das instalações.

As águas residuárias da suinocultura, são caracterizadas por possuírem altas concentrações de matéria orgânica, coliformes termotolerantes, nitrogênio e fósforo (CHENG et al., 2018). Diante desses aspectos, o tratamento dos efluentes da suinocultura são de extrema importância ambiental e sanitária. Assim, o tratamento desses efluentes por meio da digestão anaeróbia, é uma solução de baixo custo e eficaz para águas residuárias com elevadas cargas orgânicas, como as provenientes da suinocultura (DUDA; OLIVEIRA, 2011).

Entre as alternativas de tratamento de efluentes da pecuária, a digestão anaeróbia apresenta elevada eficácia na redução dos poluentes biodegradáveis complexos, além da produção satisfatória de bioenergia. Neste contexto, a digestão anaeróbia é uma tecnologia com alto potencial na estabilização de águas residuárias com altas cargas poluentes, como os efluentes da suinocultura. A digestão anaeróbia é mediada por comunidades microbianas complexas, as quais degradam a matéria orgânica e como produto, tem-se biofertilizantes e o biogás. Esse processo biológico, garante recuperação energética, além de custo-benefício e menor produção de lodo. Não necessitando de elevados gastos energéticos, como também garante o controle

de odores e adequada remoção de matéria orgânica, quando o sistema é operado em estabilidade (LOURINHO et al., 2020).

O biogás oriundo da digestão anaeróbia é uma fonte de energia renovável. O biogás é composto de CH₄ (55 – 65%), CO₂ (35 – 45%), N₂ (0 – 3%) e H₂S (0 – 1%). Estudos sugerem que o uso do biogás gerado pela digestão anaeróbia reduz a liberação de gases de efeito estufa gerados pelo armazenamento e pela fermentação (WANG et al., 2023).

Além disso, na suinocultura, os antibióticos são utilizados para prevenir e tratar doenças, promover o crescimento e melhorar a produtividade animal. Os metabólitos desses fármacos são excretados nas fezes e na urina, sendo frequente a detecção de produtos farmacêuticos em várias matrizes ambientais, como em águas superficiais, subterrâneas, solos e sedimentos. Os antibióticos podem afetar organismos terrestres e aquáticos, além da possibilidade de levar ao desenvolvimento de cepas de microrganismos resistentes (WATANABE et al., 2010).

A maioria de cepas multirresistentes, pertence a bactérias condicionalmente patogênicas, das quais as bactérias Gram-negativas representam 71%, e as Enterobacteriaceae representam mais de 53%. E tem-se evidenciado cada vez mais cepas multirresistentes em Enterobacteriaceae (ZHENG et al., 2024). A família Enterobacteriaceae possui 53 gêneros, sendo que 26 desses já foram associados a infecções bacterianas em humanos (SANTOS et al., 2020).

As bactérias de maior prioridade para a prevenção de resistência aos antibióticos, listadas como críticas pela Organização Mundial de Saúde (OMS), incluem *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa* e Enterobacteriaceae. Entre as Enterobacteriaceae, a *Escherichia coli* tem a maior probabilidade de transmissão animal-humano. Cepas patogênicas de *E. coli* colonizam o intestino de humanos e animais, além de ser onipresente no solo, nas plantas, nos vegetais e na água. Devido a isso, a *E. coli* é frequentemente escolhida como organismo sentinela para estudos relacionados a resistência aos antibióticos (ROUSHAM et al., 2018).

O uso de antimicrobianos na pecuária, contribui fortemente para a seleção e transmissão de bactérias resistentes. É evidente que o uso indiscriminado de antibióticos leva à disseminação de multirresistência entre cepas de bactérias patogênicas (GAWROŃSKA et al., 2022). A principal ameaça da presença de antibióticos no ambiente é o desenvolvimento e proliferação de genes de

resistência a antibióticos (ARG) e bactérias resistentes a antibióticos (ARB) (AZIZ et al., 2022).

A digestão anaeróbia é amplamente utilizada no tratamento de dejetos animais. Esse material digerido pode ser utilizado como adubo orgânico ou fertilizante (TIAN et al., 2021). E ainda, esse processo biológico utiliza a energia incorporada em compostos orgânicos para produzir o biogás (NAG et al., 2019).

Neste contexto, os reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) são considerados adequados e muito competitivos em virtude da produção de efluentes de alta qualidade, pouco consumo de energia, produção reduzida de lodo e produção de biogás com maiores teores de metano. Os reatores UASB representam um grande avanço na tecnologia para o tratamento secundário de águas residuárias. Tendo ainda como vantagem, serem compactos, não necessitando de grandes áreas para sua implantação (RAMIRES; OLIVEIRA, 2014). Embora o custo da implantação do reator UASB seja elevado, a recuperação do biogás torna a tecnologia econômica a longo prazo. Como também no tratamento de esgoto em regiões tropicais e subtropicais. Estudos mostram o potencial positivo do reator UASB na remoção de elementos potencialmente tóxicos e outros poluentes particulados. O tempo de retenção do lodo dentro dos reatores é maior, fazendo com que a eliminação do excesso deste seja feita com menor frequência, do que em tratamentos aeróbios. As cargas orgânicas aplicadas no reator podem ser elevadas, em razão da capacidade do reator em reter biomassa ativa (MOHAN & SWATHI, 2021).

E ainda, os sistemas de tratamento anaeróbio em duas fases, podem aumentar as remoções de sólidos em suspensão, nutrientes, metais, e bactérias coliformes (URBINATI; OLIVEIRA, 2014).

A principal justificativa para o uso de sistemas anaeróbios de tratamento de dois ou múltiplos estágios, são as diferenças das condições ambientais nas quais as bactérias são mais eficientes (KAMYAB & ZILOUEI, 2021). A digestão anaeróbia em dois estágios possui muitos benefícios, como por exemplo, a seleção e enriquecimento de distintos microrganismos funcionais, redução do efeito da variação de pH, maior eficiência de degradação e melhor produção líquida de energia quando comparada com um único reator (CHENG et al., 2016).

No entanto, para adequado funcionamento desses sistemas anaeróbios, é

necessário realizar uma partida (start-up) adequado dos reatores. Esse período transitório inicial, é marcado por instabilidades operacionais, sendo comum ocorrerem distúrbios no reator, ocasionando baixo desempenho, e reduzindo a eficiência na remoção de matéria orgânica (LECLERC et al., 2001) e a produção de metano.

Um dos maiores problemas da partida consiste na adaptação da população microbiana do lodo ao efluente. Assim, a operação de um reator somente se torna eficiente quando a biomassa está estabilizada. A partida de um reator UASB sem a utilização de inóculo pode demorar de 4 a 6 meses, dessa forma, é fundamental iniciar a alimentação dos reatores com cargas orgânicas reduzidas, e gradualmente elevá-la até a carga orgânica final (CHERNICHARO 1997).

A partida do reator UASB é o intervalo de tempo para alcançar uma operação estável em condições contínuas. Nesse período, a biomassa se ajusta às condições ambientais específicas, propiciando o desenvolvimento dos grânulos. O objetivo ao iniciar o reator anaeróbio de alta taxa é assegurar uma elevada concentração de biomassa ativa dentro do sistema. O reator UASB pode ser iniciado utilizando-se lodo granular e não granular. O tempo de inicialização do reator quando se faz uso de lodo não granular na inoculação, é aproximadamente 40% maior do que o tempo de adaptação de reatores inoculados com lodo granulado (MOHAN & SWATHI, 2021).

A inicialização de reatores anaeróbios tem grande importância no funcionamento dos digestores, uma vez que esse período afeta diretamente as comunidades microbianas envolvidas no tratamento de águas residuárias. A partida de reatores, é conhecida por envolver processos complexos e uma série de fatores que influenciam o tratamento anaeróbio, incluindo as características das águas residuárias, período de aclimação do lodo, presença de nutrientes e componentes tóxicos, pH, demanda química de oxigênio, carga orgânica aplicada e velocidade de fluxo ascendente. Portanto, os reatores anaeróbios de alta taxa devem ser iniciados aumentando gradualmente a carga orgânica volumétrica, afim de evitar o acúmulo de ácidos graxos voláteis e a diminuição do pH. Desse modo, as águas residuárias com elevadas concentrações de DQO, podem ser diluídas até valores aceitáveis, com o uso de águas residuais municipais, no processo de partida dos reatores (LIU et al., 2020). Iniciar o reator sem inóculo garante independência da propriedade onde será instalado o projeto

de reatores, sem a necessidade de coleta desse material de outros locais. Como também pode garantir maior segurança ambiental e sanitária em relação a possíveis contaminantes presentes nesse material.

Na busca por alternativas de melhorias nos tratamentos de águas residuárias, é possível destacar as propriedades do biochar. O biochar é uma substância granular sólida, produzida pela pirólise e carbonização da biomassa em condições anaeróbias. Possui vantagem econômica em relação ao carvão ativado tradicional, devido ao uso frequente de biomassa residual como matéria-prima. No entanto, suas propriedades e capacidade de adsorção são distintas devido às diferenças nas matérias-primas e aos processos utilizados. A adição de biochar em sistemas de tratamento anaeróbio, pode melhorar a capacidade tampão, garantir a estabilidade do sistema, melhorando a eficiência do tratamento. Além disso, os oligoelementos metálicos atuam na atividade das enzimas microbianas, estimulando o crescimento microbiano, influenciando a distribuição das comunidades, afetando os processos de produção de metano (SU et al., 2021).

Além disso, o biochar quando utilizado como carreador ou corretivo para alterar as propriedades de diferentes sistemas ambientais, promove a remoção de alguns poluentes. O biochar pode afetar as propriedades ambientais e/ou interagir com os genes de bactérias resistentes à antimicrobianos para controlar a proliferação e disseminação desses. As diversas funções e efeitos do biochar na mitigação de poluentes, proporcionam inúmeras possibilidades de aplicação desse em variados contextos de governança ambiental (SHAO et al., 2022).

CONCLUSÃO: Foi possível verificar estabilidade do sistema de tratamento e remoções adequadas de DQO_{total} com valores médios de até 83% no sistema composto pelos reatores R1 e R2, além da remoção de nutrientes nos reatores autoinoculados, tratando efluentes da suinocultura. Mostrando a possibilidade de iniciar reatores UASB em um tempo relativamente curto (três meses) sem o uso de inóculo. O aumento gradativo da COV levou a acréscimos na produção volumétrica de metano, com porcentagem de metano de até 79% no reator R1. Foram detectadas Enterobactérias resistentes a ampicilina no lodo dos reatores autoinoculados, o que demonstra a importância do tratamento e descarte adequado do lodo. O efeito do biochar no tamponamento do sistema, não foi detectado, uma vez que os reatores já se encontravam em estabilidade. No entanto, o biochar pode ser o responsável por melhorias na porcentagem de metano, como também é notória a sua contribuição na formação de biofilmes e colonização bacteriana do mesmo, por arqueias metanogênicas. O gênero de arqueia mais abundante no reator 1 durante as 4 fases, foi a *Methanosaeta*.

REFERÊNCIAS

ABAKARI G et al. The use of biochar in the production of tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a biofloc technology system—BFT. **Aquacult Eng** 91:102123, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102123>

ABCS, Associação Brasileira dos Criadores de Suínos. Suinocultura termina 2022 em lenta recuperação e demonstra bons sinais 2023, 13 de dez 2022. Disponível em: <<https://abcs.org.br/noticia/suinocultura-termina-2022-em-lenta-recuperacao-e-demonstra-bons-sinais-2023/>>. Acesso em: 08 set 2023.

ADRIANUS et al. PROSAB: Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo - Coletânea de Trabalhos Técnicos - 1999.

AHMAD MR et al Improvement effect of pyrolyzed agro-food biochar on the properties of magnesium phosphate cement. **Sci Total Environ** 718:137422 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137422>

ALBERNAZ-GONÇALVES, R.; ANTILLÓN, G. O.; HÖTZEL, M. J. Linking Animal Welfare and Antibiotic Use in Pig Farming — **A Review Animals MDPI**, 1 jan. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12020216>

APHA, AWWA, WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st ed., American Public Health Association, Washington, DC, 2005.

ASLAM, A. KHAN S, J. SHAHZAD, H, M, D. Anaerobic membrane bioreactors (AnMBRs) for municipal wastewater treatment- potential benefits, constraints, and future perspectives: An updated review. **Science of The Total Environment**, Volume 802, 1 Jan. 2022, 149612. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149612>

AWASTHI, M. K. Engineered biochar: A multifunctional material for energy and environment. **Environmental Pollution**, v. 298, 1 abr. 2022. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.118831

AZIZ, A.; SENGAR, A.; BASHEER, F.; FAROOQI, I. H.; ISA, M. H. Anaerobic digestion in the elimination of antibiotics and antibiotic-resistant genes from the environment – A comprehensive review *Journal of Environmental Chemical Engineering* Elsevier Ltd, 1 fev. 2022. DOI: [10.1016/j.jece.2021.106423](https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106423).

CARNEIRO, R. B.; GOMES, G. M.; ZAIAT, M.; SANTOS-NETO, Á. J. Two-phase (acidogenic-methanogenic) anaerobic fixed bed biofilm reactor enhances the biological domestic sewage treatment: Perspectives for recovering bioenergy and value-added by-products. **Journal of Environmental Management**, v. 317, 1 set. 2022. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.115388

CREMONEZ, P. A.; TELEKEN, J. G.; WEISER MEIER, T. R.; ALVES, H. J. Two-Stage anaerobic digestion in agroindustrial waste treatment: A review. **Journal of**

Environmental Management Academic Press, 1 mar. 2021. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.111854

BARROSO JÚNIOR, J. C. A.; SILVA, M. C. DE A.; HOYOS, N. L. M., & MONTEGGIA, L. O. Evaluation of UASB effluent post-treatment in pilot-scale by microalgae HRP and macrophytes pond for nutrient recovery. **Journal of Cleaner Production**, 357, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131951>

BEZERRA, S. A. Gestão Ambiental da Propriedade Suinícola: um modelo baseado em um biosistema integrado. p. 270. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), UFSC, Florianópolis, 2002.

BIYENSA GURMESSA, ESTER FOPPA PEDRETTI, STEFANIA COCCO, VALERIA CARDELLI, GIUSEPPE CORTI. Manure anaerobic digestion effects and the role of pre- and post-treatments on veterinary antibiotics and antibiotic resistance genes removal efficiency, **Science of The Total Environment**, V. 721, 2020, 137532, ISSN 0048-9697. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137532>.

BONUGLI-SANTOS, R. C.; MARTERES, T. J.; LUIZ, F. N.; SOMER, J. G.; MARI, Â. G.; PASSARINI, M. R. Z. Prolonged acetogenic phase and biological succession during anaerobic digestion using swine manure. **Folia Microbiologica**, v. 67, n. 5, p. 733–745, 1 out. 2022. DOI: 10.1007/s12223-021-00937-2

BRASIL, Instrução Normativa Nº 113, de 16 de dezembro de 2020, Estabelecer as boas práticas de manejo e bem-estar animal nas granjas de suínos de criação comercial. Diário Oficial da União: Brasília, DF, seção 1, edição 242, p. 5, 18 dez. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-113-de-16-de-dezembro-de-2020-294915279>.

CAMPOS, C. M. M.; CARMO, F. R.; BOTELHO, C. G. Desenvolvimento e operação de reator anaeróbico de manta de lodo (UASB) no tratamento dos efluentes da suinocultura em escala laboratorial. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 1, p. 140-147, 01-2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000100020>

CASSINI, S. T.; COELHO, S. T.; PECORA, V. Biogás- Biocombustíveis ANP. In: Carlos Augusto G. Perlingeiro. (Org.). Biocombustíveis no Brasil - Fundamentos, Aplicações e Perspectivas. C. Rio de Janeiro: **Synergia Editora**, 2014, v. 1, p. 136-167.

CHEN, H., YUAN, J., YANG, E., YANG, T., SHI, L., LIU, Z., YU, H., CAO, J., KONG, Z., ZHOU, Q., & CHEN, J. Swine wastewater treatment using combined up-flow anaerobic sludge blanket and anaerobic membrane bioreactor: Performance and microbial community diversity. **Bioresource Technology**, 128606, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128606>

CHENG, D. L., NGO, H. H., GUO, W. S., CHANG, S. W., NGUYEN, D. D., KUMAR, S. M., DU, B., WEI, Q., & WEI, D. Problematic effects of antibiotics on anaerobic treatment of swine wastewater. In **Bioresource Technology**, Vol. 263, pp. 642–653, 2018. Elsevier Ltd. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.05.010>

CHERNICHARO, C.A.L. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Vol. 5 – Reatores Anaeróbios. Belo Horizonte: Segrac, 1997. 246 p

CHIAPPERO, M.; NOROUZI, O.; HU, M.; DEMICHELIS, F.; BERRUTI, F.; DI MARIA, F.; MAŠEK, O.; FIORE, S. Review of biochar role as additive in anaerobic digestion processes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 131, 2020, 110037. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110037>.

DA SILVA, M. L. B. et al. Assessment of bacterial and archaeal community structure in swine wastewater treatment processes. *Microbial Ecology*, v. 70, n. 1, p. 77-87, 2015. DOI: [10.1007/s00248-014-0537-8](https://doi.org/10.1007/s00248-014-0537-8)

DENG, L.; ZHENG, D.; ZHANG, J.; YANG, H.; WANG, L.; WANG, W.; HE, T.; ZHANG, Y. Treatment and utilization of swine wastewater – A review on technologies in full-scale application. **Science of the Total Environment** Elsevier B.V., 1 jul. 2023. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2023.163223](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163223)

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

DINNEBIER, H. C. F., MATTHIENSEN, A.; MICHELON, W.; TÁPPARO, D. C.; FONSECA, T. G.; FAVRETTO, R.; STEINMETZ, R. L. R.; TREICHEL, H.; ANTES, F. G.; KUNZAB, A. Phycoremediation and biomass production from high strong swine wastewater for biogas generation improvement: An integrated bioprocess. **Bioresource Technology**, v. 332, n. 125111, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125111>

DUDA, R. M.; VANTINI, J. S.; MARTINS, L. S.; VARANI, A. M.; LEMOS, M.V.; FERRO, M. I. T.; OLIVEIRA, R. A. 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. DOI: [10.1016/j.biortech.2015.08.004](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.004)

DUDA, R.M.; OLIVEIRA, R.A. Reatores anaeróbios operados em batelada sequencial, seguidos de lagoas de polimento, para o tratamento de águas residuárias de suinocultura. Parte I: produção de metano e remoção de DQO e de sólidos suspensos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 122-134, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162009000100013>

DUDA, R.M.; OLIVEIRA, R.A. Tratamento de águas residuárias de suinocultura em reator UASB e filtro anaeróbio em série seguidos de filtro biológico percolador. **Eng Sanit Ambient**, v.16 n.1 p. 91-100, 2011. DOI: <https://www.scielo.br/j/esa/a/vK5XyytR8WQFKFTxzskpMFw/?lang=pt&format=pdf>

DYAR, O. J, ZHANG, T.; PENG, Y.; SUN, M.; SUN, C.; YIN, J.; DING, L.; SUN, C.; WANG, Y.; SUN, Q.; GREKO, C.; LUNDBORG, C. S. Knowledge, attitudes and practices relating to antibiotic use and antibiotic resistance among backyard pig farmers in rural Shandong province, China. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 175, n.104858, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.104858>

EMBRAPA. Manual Brasileiro de Boas Práticas Agropecuárias na Produção de Suínos / Revisão técnica Armando Lopes do Amaral. [et al.] – Brasília, DF: ABCS; MAPA; Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. 140 p.; 29,7 cm.

ENGELAGE, E., ET AL. Análise de Custos na Suinocultura: Suinocultores X Empresas Integradoras. In: XXII Congresso Brasileiro de Custos Anais, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 11 a 13 de novembro de 2015. DOI: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/viewFile/3925/3926>

F.-X. PHILIPPE, B. NICKS, Review on greenhouse gas emissions from pig houses: Production of carbon dioxide, methane and nitrous oxide by animals and manure, Agriculture, **Ecosystems & Environment**, Volume 199,2015, Pages 10-25, ISSN 0167-8809. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.08.015>.

FERNANDES, G.F.; OLIVEIRA, R.A. Desempenho de processo anaeróbio em dois estágios (reator compartimentado seguido de reator UASB) para tratamento de águas residuárias de suinocultura, **Engenharia agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n.1, p. 243-256, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162006000100027>

FRIEDMAN, N. D.; TEMKIN, E.; CARMELI, Y. The negative impact of antibiotic resistance. **Clinical Microbiology and Infection** Elsevier B.V., 1 maio 2016. DOI: 10.1016/j.cmi.2015.12.002

GAWROŃSKA, M.; KOWALIK, M.; MAKOWSKI, M. Recent advances in medicinal chemistry of ampicillin: Derivatives, metal complexes, and sensing approachesTrAC - **Trends in Analytical Chemistry** Elsevier B.V., 1 out. 2022. DOI: [10.1016/j.trac.2022.116691](https://doi.org/10.1016/j.trac.2022.116691)

GERARDI, M.H. The microbiology of anaerobic digesters New Jersey: **Wiley & Sons**, 2003. 130p. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/0471468967>

HAOSAGUL, S.; PROMMEENATE, P.; HOBBS, G.; PISUTPAISAL, N. Sulfide-oxidizing bacteria community in full-scale bioscrubber treating H₂S in biogas from swine anaerobic digester. **Renewable Energy**, v. 150, p. 973–980, 1 maio 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130337>

H. LECLERC, D. A. A. MOSSEL, S. C. EDBERG, C. B. STRUIJK. Advances in the Bacteriology of the Coliform Group: Their Suitability as Markers of Microbial Water Safety. **Annual Review of Microbiology** 2001 55:1, 201-234. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.55.1.201>

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Trimestral do Abate de Animais, 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1093>.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Trimestral do Abate de Animais, 2023. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9203-pesquisas-trimestrais-do-abate-de-animais.html>.

JENKINS, S. R.; MORGAN, J. M.; SAWYER, C. L. Measuring anaerobic sludge digestion and growth by a simple alkalimetric titration. **Journal Water Pollution Control Federation**, p. 448-453, 1983.

JIANG, B.; TIAN, J.; CHEN, H.; ZHENG, H.; XU, Z.; LIN, Y. Heavy metals migration and antibiotics removal in anaerobic digestion of swine manure with biochar addition. **Environmental Technology and Innovation**, v. 27, 1 ago. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2023.100226>

JUNIOR, A. E. S. 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. 94 f. Tese (Doutorado em Microbiologia Agropecuária) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, 2018.

KAMYAB, B.; ZILOUEI, H. Investigating the efficiency of biogas production using modelling anaerobic digestion of baker's yeast wastewater on two-stage mixed-UASB reactor. **Fuel**, v. 285, 1 fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119198>

KHINE, N. O.; WONGSURAWAT, T.; JENJAROENPUN, P.; HAMPSON, D. J.; PRAPASARAKUL, N. Comparative genomic analysis of Colistin resistant *Escherichia coli* isolated from pigs, a human and wastewater on colistin withdrawn pig farm. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, 1 dez. 2023. DOI: 10.1038/s41598-023-32406-w

KONEMAN, E.W.; ALLEN, S.D.; DOWELL, V.R.; JANDA, W.M.; SOMMERS, H.M.; WINN, W.C. Enterobacteriaceae . In: Diagnóstico micro-biológico. Texto y Atlas Color. 3ed. México, D.F.: Editorial Medica Panamericana. 1997, p.203-267

LAN, L.; KONG, X.; SUN, H.; LI, C.; LIU, D. High removal efficiency of antibiotic resistance genes in swine wastewater via nanofiltration and reverse osmosis processes. **Journal of Environmental Management**, v. 231, p. 439–445, 1 fev. 2019. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.10.073

LATIF M.A., GHUFRAN R., WAHID Z.A., AHMAD A. Integrated application of upflow anaerobic sludge blanket reactor for the treatment of wastewaters. **Water Res.** 2011;45:4683–4699. DOI: 10.1016/j.watres.2011.05.049.

LEKAGUL, A.; TANGCHAROENSATHIEN, V.; YEUNG, S. Patterns of antibiotic use in global pig production: A systematic review. **Veterinary and Animal Science Elsevier B.V.**, 1 jun. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vas.2019.100058>

LIM S.J., KIM T.H. Applicability and trends of anaerobic granular sludge treatment processes. **Biomass Bioenergy**. 2014;60:189–202. DOI: 10.1016/j.biombioe.2013.11.011.

LOURINHO, G.; RODRIGUES, L. F. T. G.; BRITO, P. S. D. Recent advances on anaerobic digestion of swine wastewater. **International Journal of Environmental Science and Technology Springer Science and Business Media Deutschland GmbH**, 1 dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02793-y>

LUO, C., HE T., WANG G., TIAN M., DAI L., PU T., TIAN G. Up-flow anaerobic sludge blanket treatment of swine wastewater: Effect of heterologous and homologous inocula on anaerobic digestion performance and the microbial community, **Bioresource Technology**, Volume 386, 2023,129463, ISSN 0960-8524, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129463>.

LI, S.; ONDON, B. S.; HO, S. H.; JIANG, J.; LI, F. Antibiotic resistant bacteria and genes in wastewater treatment plants: From occurrence to treatment strategies. **Science of the Total Environment** Elsevier B.V., 10 set. 2022. DOI: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722036415>.

LI, S.; HUA, T.; YUAN, C.-S.; LI, B.; ZHU, X.; LI, F. Degradation pathways, microbial community and electricity properties analysis of antibiotic sulfamethoxazole by bio-electro-Fenton system. **Bioresource Technology**, v. 298, p. 122501, fev. 2020. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852419317316>>.

LIN, C. Y.; CHAI, W. S.; LAY, C. H.; CHEN, C. C.; LEE, C. Y.; SHOW, P. L. Optimization of hydrolysis-acidogenesis phase of swine manure for biogas production using two-stage anaerobic fermentation. **Processes**, v. 9, n. 8, 1 ago. 2021. DOI: 10.3390/pr9081324

LIU, L; LI, J.; FAN, HONGYONG; HUANG, XU; LIU, CHAOXIANG. Fate of antibiotics from swine wastewater in constructed wetlands with different flow configurations. **International Biodeterioration & Biodegradation**, V. 140, p. 119-125, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.04.002>

LIU, W.; LONG, Y.; FANG, Y.; YING, L.; SHEN, D. A novel aerobic sulfate reduction process in landfill mineralized refuse. **Science of the Total Environment**, v. 637–638, p. 174–181, 1 out. 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.304

LIU, W. T.; CHAN, O. C.; FANG, H. H. P. Characterization of microbial community in granular sludge treating brewery wastewater. **Water Research**, v. 36, p. 1767-1775, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00377-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00377-3)

MACHADO, E. C.; LEAL, C. D.; COELHO, B. L.; CHERNICHARO, C. A. de L.; DE ARAÚJO, J. C. Detection and quantification of bacteria resistant to ampicillin and chloramphenicol in domestic sewage treatment plants. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 25, n. 6, p. 847–857, 1 nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020180001>

MACLEOD, F. A, S R GUIOT, J W COSTERTON. Layered structure of bacterial aggregates produced in an upflow anaerobic sludge bed and filter reactor. **ASM Journals Applied and Environmental Microbiology**, Vol. 56, No. 6, 1 June 1990. DOI: <https://doi.org/10.1128/aem.56.6.1598-1607.1990>.

MAINARDIS M, BUTTAZZONI M, GOI D. Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Technology for Energy Recovery: A Review on State-of-the-Art and Recent Technological Advances. **Bioengineering** (Basel). 2020 May 10;7(2):43. DOI: 10.3390/bioengineering7020043.

MASSÉ, D. I.; SAADY, N. M. C.; GILBERT, Y. Potential of biological processes to eliminate antibiotics in livestock manure: An overview *Animals*. **MDPI AG**, 4 de abr. 2014; 4 (2):146-63. DOI: 10.3390/ani4020146.

MENEZES, K. V.; DUARTE, C. E. de S.; MOREIRA, M. G.; MORENO, T. de J. C.; PEREIRA, V. J. da S.; UCELLA-FILHO, J. G. M.; OTENIO, M. H.; IGNACCHITI, M. D. C.; RESENDE, J. A. Enterobacteria in anaerobic digestion of dairy cattle wastewater: assessing virulence and resistance for one health security. **Water Research**, p. 121192, jan. 2024. DOI: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135424000927>.

MENZ, J.; OLSSON, O.; KÜMMERER, K. Antibiotic residues in livestock manure: Does the EU risk assessment sufficiently protect against microbial toxicity and selection of resistant bacteria in the environment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 379, 5 nov. 2019. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2019.120807

MONTCHELE, M. Antibióticos usados na pecuária criaram bactérias resistentes em humanos, 02 de maio de 2023. **Revista Veja**. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/ciencia/antibioticos-usados-na-pecuaria-criaram-bacterias-resistentes-em-humanos>>. Acesso em dez de 2023.

MENG, X.; WANG, Q.; ZHAO, X.; CAI, Y.; MA, X.; FU, J.; WANG, P.; WANG, Y.; LIU, W.; REN, L. A review of the technologies used for preserving anaerobic digestion inoculum. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** Elsevier Ltd, 1 dez. 2023. DOI: 10.1016/j.rser.2023.113804

MORENO, M. A. Survey of quantitative antimicrobial consumption per production stage in farrow-to-finish pig farms in Spain. v. 1, p. 2, 2014. DOI: <https://bvajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1136/vropen-2013-000002>.
TTI, S. M. L.; BERTONCINI, E. I.; ABREU-JUNIOR, C. H. Characterization of raw swine waste and effluents treated anaerobically: parameters for Brazilian environmental regulation construction aiming agricultural use. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 23, n. 1, p. 165–176, 1 jan. 2021. DOI:10.1007/s10163-020-01115-1

NAG, R.; AUER, A.; BRYAN, K. M.; WHYTE, P.; NOLAN, S.; O'FLAHERTY, V.; RUSSELL, L.; BOLTON, D.; FENTON, O.; RICHARDS, K.; CUMMINS, E. Anaerobic digestion of agricultural manure and biomass – Critical indicators of risk and knowledge gaps. **Science of The Total Environment**, v. 690, p. 460-479, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.512>

NEO, S.; VINTILĂ, T.; BURA, M. Conversion of Agricultural Wastes to Biogas using as Inoculum Cattle Manure and Activated Sludge *Scientific Papers: Animal Science and Biotechnologies*.

OLIVEIRA, J. F. DE, FIA, R., FIA, F. R. L., RODRIGUES, F. N., MATOS, M. P. DE, & SINISCALCHI, L. A. B. Principal component analysis as a criterion for monitoring variable organic load of swine wastewater in integrated biological reactors UASB, SABF

and HSSF-CW. **Journal of Environmental Management**, 262, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110386>

OLIVEIRA, P. A. V. de. Potencial de produção e utilização de biogás na avicultura comercial. In: ENCONTRO DE AVICULTORES DO ESTADO DE SAO PAULO, 27.; **JORNADA TÉCNICA**, 24., 2001, Bastos, SP. Anais. Bastos: Sindicato Rural de Bastos, 2001. p.16-28

OLIVEIRA, R.A. de, SANTANA, A.M. de. Tratamento de águas residuárias de suinocultura em reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) em dois estágios seguidos de reator operado em batelada seqüencial (RBS). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.1, p.178-192, 2011.

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 1997. 359 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

PEREIRA SILVA, T., GUIMARÃES DE OLIVEIRA, M., MARQUES MOURÃO, J. M., BEZERRA DOS SANTOS, A., & LOPES PEREIRA, E. Monte Carlo-based model for estimating methane generation potential and electric energy recovery in swine wastewater treated in UASB systems. **Journal of Water Process Engineering**, 51, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103399>

RAMIRES, R.D. OLIVEIRA, R.A. de. COD, TSS, NUTRIENTS AND COLIFORMS REMOVALS IN UASB REACTORS IN TWO STAGES TREATING SWINE WASTEWATER. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.34, n.6, p. 1256-1269, 2014.

RANI, J.; PANDEY, K. P.; KUSHWAHA, J.; PRIYADARSINI, M.; DHOBLE, A. S. Antibiotics in anaerobic digestion: Investigative studies on digester performance and microbial diversity. **Bioresource Technology**. Elsevier Ltd, 1 out. 2022. DOI: 10.1016/j.biortech.2022.127662.

RAJKOVICH, S.; ENDERS, A.; HANLEY, K.; HYLAND, C.; ZIMMERMAN, A.R.; LEHMANN, J. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. **Biology and Fertility of Soils**, 48: 271 -284, 2011.

RENAUDEAU, D.; DOURMAD, J. Y. Review: Future consequences of climate change for European Union pig production. *Animal* Elsevier B.V., **Animal** Vol. 16, jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100372>.

RICO, C.; MONTES, J. A.; RICO, J. L. Evaluation of different types of anaerobic seed sludge for the high rate anaerobic digestion of pig slurry in UASB reactors. **Bioresource Technology**, v. 238, p. 147–156, 2017. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.04.014

ROMERO, R. M.; VALENZUELA, E. I.; CERVANTES, F. J.; REYES, R. B. G.; SERRANO, D.; ALVAREZ, L. H. Improved methane production from anaerobic

digestion of liquid and raw fractions of swine manure effluent using activated carbon. **Journal of Water Process Engineering**, v. 38, n. 101576, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101576>

ROUSHAM, E. K.; UNICOMB, L.; ISLAM, M. A. Human, animal and environmental contributors to antibiotic resistance in low-resource settings: Integrating behavioural, epidemiological and one health approaches Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. **Royal Society Publishing**, 11 abr. 2018.

S. MARIRAJ MOHAN, T. SWATHI, Enhanced Substrate Degradation Using Modified Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor - Laboratory Scale Variable Hydraulic Retention Time Static Granular Bed Reactor Series, **Journal of Environmental Engineering**, 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0002079, 149, 1, (2023).

SÁNCHEZ, E.; HERRMANN, C.; MAJA, W.; BORJA, R. Effect of organic loading rate on the anaerobic digestion of swine waste with biochar addition. [s.d.] DOI:<https://doi.org/10.1007/s11356-021-13428-1>.

SANTOS, A. L.; DOS SANTOS, A. P.; ITO, C. R. M.; DE QUEIROZ, P. H. P.; DE ALMEIDA, J. A.; JÚNIOR, M. A. B. de C.; DE OLIVEIRA, C. Z.; AVELINO, M. A. G.; WASTOWSKI, I. J.; GOMES, G. P. L. A.; E SOUZA, A. C. S.; VASCONCELOS, L. S. N. de O. L.; SANTOS, M. de O.; DA SILVA, C. A.; CARNEIRO, L. C. Profile of enterobacteria resistant to beta-lactams. **Antibiotics**, v. 9, n. 7, p. 1–18, 1 jul. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2022.100688>

SANTANA, A.M. de; 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.; DUDA, R.M. ; DE OLIVEIRA, R.A. 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. 117577-11, 2019.

SANTANA JR, A. E. Produção de metano e melaço em reatores UASB termofílicos, em dois estágios. [s.l.] 2013. 71 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal., 2013.

SANTOS, A. L.; DOS SANTOS, A. P.; ITO, C. R. M.; DE QUEIROZ, P. H. P.; DE ALMEIDA, J. A.; JÚNIOR, M. A. B. de C.; DE OLIVEIRA, C. Z.; AVELINO, M. A. G.; WASTOWSKI, I. J.; GOMES, G. P. L. A.; E SOUZA, A. C. S.; VASCONCELOS, L. S. N. de O. L.; SANTOS, M. de O.; DA SILVA, C. A.; CARNEIRO, L. C. Profile of enterobacteria resistant to beta-lactams. **Antibiotics**, v. 9, n. 7, p. 1–18, 1 jul. 2020.

SAKAR S, YETILMEZSOY K, KOCAK E. Anaerobic digestion technology in poultry and livestock waste treatment-a literature review. **Waste Manag Res**. 2009 Feb;27(1):3-18. doi: 10.1177/0734242X07079060. PMID: 19220987.

SCHMIDT, J. E.; AHRING, B. K. Granular sludge formation in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors. **Biotechnology & Bioengineering**, New York, v. 49, n. 3, p. 229-246, Feb. 1996. DOI: [10.1002/\(SICI\)1097-0290\(19960205\)49:3<229::AID-BIT1>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0290(19960205)49:3<229::AID-BIT1>3.0.CO;2-M)

SCHOTT, C., CUNHA, J. R., VAN DER WEIJDEN, R. D., & BUISMAN, C. Phosphorus recovery from pig manure: Dissolution of struvite and formation of calcium phosphate granules during anaerobic digestion with calcium addition. **Chemical Engineering Journal**, 437, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.135406>

SECCO, C; LUZ, L. M. da; PINHEIRO, ELIANE; FRANCISCO, ANTÔNIO CARLOS; PUGLIERIA, Fabio Neves; PIEKARSKIA, Cassiano Moro; FREIRE, Fausto Miguel Cereja. Circular economy in the pig farming chain: Proposing a model for measurement. **Journal of Cleaner Production**, V. 260, n. 121003, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121003>

SIEWHUI CHONG, TUSHAR KANTI SEN, AHMET KAYAALP, HA MING ANG, The performance enhancements of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors for domestic sludge treatment – A State-of-the-art review, **Water Research**, V.46, Issue 11, 2012, Pages 3434-3470, ISSN 0043-1354. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.03.066>.

SHINDE, R.; HACKULA, A.; O'SHEA, R.; BARTH, S.; MURPHY, J. D.; WALL, D. M. Demand-driven biogas production from Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactors to balance the power grid. **Bioresource Technology**, v. 385, 1 out. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129364>

SHOW, K. Y.; YAN, Y.; YAO, H.; GUO, H.; LI, T.; SHOW, D. Y.; CHANG, J. S.; LEE, D. J. Anaerobic granulation: A review of granulation hypotheses, bioreactor designs and emerging green applications. **Bioresource Technology** Elsevier Ltd, 1 mar. 2020. DOI: [10.1016/j.biortech.2020.122751](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122751)

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**, 1 SUPPL. Elsevier Ltd, 2010. v. 101. DOI: [10.1016/j.biortech.2009.03.054](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.03.054)

SONG, Y.; QIAO, W.; WESTERHOLM, M.; HUANG, G.; TAHERZADEH, M. J.; DONG, R. Microbiological and Technological Insights on Anaerobic Digestion of Animal Manure: A Review. **Fermentation** MDPI, 1 maio 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation9050436>

SUDIARTHA, G. A. W.; IMAI, T.; HUNG, Y. T. Effects of Stepwise Temperature Shifts in Anaerobic Digestion for Treating Municipal Wastewater Sludge: A Genomic Study. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 9, 1 maio 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19095728>

SUI, Q.; CHEN, Y.; YU, D.; WANG, T.; HAI, Y.; ZHANG, J.; CHEN, M.; WEI, Y. Fates of intracellular and extracellular antibiotic resistance genes and microbial community

structures in typical swine wastewater treatment processes. **Environment International**, v. 133, 1 dez. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105183>.

SUI, Q.; ZHANG, J.; CHEN, M.; TONG, J.; WANG, R.; WEI, Y. Distribution of antibiotic resistance genes (ARGs) in anaerobic digestion and land application of swine wastewater. **Environmental Pollution**, v. 213, p. 751-759, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.03.038>

TAIT, S.; HARRIS, P. W.; MCCABE, B. K. Biogas recovery by anaerobic digestion of Australian agro-industry waste: A review. **Journal of Cleaner Production** Elsevier Ltd, 25 maio 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126876>

TÁPPARO, D. C.; ROGOVSKI, P.; CADAMURO, R. D.; MARQUES SOUZA, D. S.; BONATTO, C.; FRUMI CAMARGO, A.; SCAPINI, T.; STEFANSKI, F.; AMARAL, A.; KUNZ, A.; HERNÁNDEZ, M.; TREICHEL, H.; RODRÍGUEZ-LÁZARO, D.; FONGARO, G. Nutritional, Energy and Sanitary Aspects of Swine Manure and Carcass Co-digestion. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology** Frontiers Media S.A., 29 abr. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00333>

TARAKDJIAN, J.; CAPELLO, K.; PASQUALIN, D.; SANTINI, A.; CUNIAL, G.; SCOLLO, A.; MANNELLI, A.; TOMAO, P.; VONESCH, N.; DI MARTINO, G. Antimicrobial use on italian pig farms and its relationship with husbandry practices. **Animals**, v. 10, n. 3, 1 mar. 2020. DOI: [10.3390/ani10030417](https://doi.org/10.3390/ani10030417)

T. ABBASI, S.A. ABBASI. Formation and impact of granules in fostering clean energy production and wastewater treatment in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, V. 16, Issue 3,2012, Pages 1696-1708, ISSN 1364-0321. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.017>

TAVERA-RUIZ, C.; MARTÍ-HERRERO, J.; MENDIETA, O.; JAIMES-ESTÉVEZ, J.; GAUTHIER-MARADEI, P.; AZIMOV, U.; ESCALANTE, H.; CASTRO, L. Current understanding and perspectives on anaerobic digestion in developing countries: Colombia case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** Elsevier Ltd, 1 mar. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113097>

TIAN, T.; QIAO, W.; HAN, Z.; WEN, X.; YANG, M.; ZANG, Y. Effect of temperature on the persistence of fecal bacteria in ambient anaerobic digestion systems treating swine manure. **Science of The Total Environment**, v. 791, n. 148302, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148302>

TIWARI, M.K., GUHA, S., HARENDRANATH, C.S. *et al.* Influence of extrinsic factors on granulation in UASB reactor. **Appl Microbiol Biotechnol** 71, 145–154 (2006). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-006-0397-3>.

TZANIDAKIS, C.; PANAGIOTIS, S.; ARVANITIS, K.; PANAGAKIS, P. An overview of the current trends in precision pig farming technologies. **Livestock Science**, V. 249, n. 104530, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104530>

UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Departamento de Ciências Exatas. *Estação Agroclimatológica*, 2019. Disponível em <www.fcav.unesp.br/estação>.

URBINATI, E.; OLIVEIRA, R.A. Anaerobic-aerobic treatment of swine wastewater in UASB and Batch reactors in series. **Scientific Papers Eng. Agríc.**, v.34, n.1, p.124-142, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000100014>

VAN LIER, J. B. & LETTINGA, G. Limitations of thermophilic anaerobic wastewater treatment and the consequences for process design. In **Anaerobic Processes for Bioenergy and Environment**, Proc. Int. Meeting Copenhagen, p. 25-27, 1995. DOI: 10.1007/BF00641606

VAN HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G. Anaerobic sewage treatment: a practical guide for regions with a hot climate. **Nova York: John Wiley and Sons**, 1994.

XU J; ADAIR CW; DESHUSSES MA. Performance evaluation of a full-scale innovative swine waste-to-energy system. **Bioresour Technol.** 2016 Sep;216:494-502. Epub 2016 May 24. PMID: 27268434. DOI: [10.1016/j.biortech.2016.05.089](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.05.089)

XU, S.; DUAN, Y.; ZOU, S.; LIU, H.; LUO, L.; WONG, J. W. C. Evaluations of biochar amendment on anaerobic co-digestion of pig manure and sewage sludge: waste-to-methane conversion, microbial community, and antibiotic resistance genes. **Bioresource Technology**, v. 346, 1 fev. 2022. DOI: [10.1016/j.biortech.2021.126400](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126400)

WANG, G.; LIU, G.; YAO, G.; FU, P.; SUN, C.; LI, Y.; LI, Q.; LI, Y. Y.; CHEN, R. Biochar-assisted anaerobic membrane bioreactor towards high-efficient energy recovery from swine wastewater: Performances and the potential mechanisms. **Bioresource Technology**, v. 369, 1 fev. 2023. DOI: [10.1016/j.biortech.2022.128480](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128480)

WATANABE, N.; BERGAMASCHI, B. A.; LOFTIN, K. A.; MEYER, M. T.; HARTER, T. Use and environmental occurrence of antibiotics in freestall dairy farms with manured forage fields. **Environmental Science and Technology**, v. 44, n. 17, p. 6591–6600, 1 set. 2010. DOI: [10.1021/es100834s](https://doi.org/10.1021/es100834s)

WANG Q et al. Rice husk-derived hard carbons as high-performance anode materials for sodium-ion batteries. **Carbon** 127:658–666 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2017.11.054>

ZAREI-BAYGI, A.; SMITH, A. L. Intracellular versus extracellular antibiotic resistance genes in the environment: Prevalence, horizontal transfer, and mitigation strategies. **Bioresource Technology** Elsevier Ltd, 1 jan. 2021. DOI: [10.1016/j.biortech.2020.124181](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124181)

ZAHEDI, S.; GROS, M.; PETROVIĆ, M.; BALCAZAR, J. L.; PIJUAN, M. Anaerobic treatment of swine manure under mesophilic and thermophilic temperatures: Fate of veterinary drugs and resistance genes. **Science of the Total Environment**, v. 818, 20 abr. 2022. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2021.151697](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151697)

ZENG, Z., ZHENG, P., DA, K., Li, Y., Li, W., DONGDONG, X., CHEN, W., & PAN,

C. (2021). The removal of copper and zinc from swine wastewater by anaerobic biological-chemical process: Performance and mechanism. **Journal of Hazardous Materials**, 401. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123767>

ZHANG, M.; LIU, Y. S.; ZHAO, J. L.; LIU, W. R.; CHEN, J.; ZHANG, Q. Q.; HE, L. Y.; YING, G. G. Variations of antibiotic resistome in swine wastewater during full-scale anaerobic digestion treatment. **Environment International**, v. 155, 1 out. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106694>.

ZHANG, X.; HUANG, H.; DU, Q.; GAO, F.; WANG, Z.; WU, G.; GUO, W.; HAO NGO, H. Performance of a recirculated biogas-sparging anaerobic membrane bioreactor system for treating synthetic swine wastewater containing sulfadiazine antibiotic. **Chemical Engineering Journal**, v. 476, 15 nov. 2023. DOI: [10.1016/j.cej.2023.146735](https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.146735).

ZHAO W et al. A review of biochar in anaerobic digestion to improve biogas production: performances, mechanisms and economic assessments. **Bioresour Technol** 341:125797, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125797>

ZHENG, X.; XU, D.; YAN, J.; QIAN, M.; WANG, P.; ZAEIM, D.; HAN, J.; QU, D. Mobile genetic elements facilitate the transmission of antibiotic resistance genes in multidrug-resistant Enterobacteriaceae from duck farms. **Food Science and Human Wellness**, v. 13, n. 2, p. 729–735, 1 mar. 2024. DOI: <https://doi.org/10.26599/FSHW.2022.9250062>

ZHOU L., OU P., SHAO Z., SHEN Y., LU J., ZHUANG W. Dissimilatory sulfate reduction in the cake layer of a full-scale anaerobic dynamic membrane bioreactor for hotel laundry wastewater treatment: Bacterial community and functional genes, **Bioresource Technology**, Volume 351, 2022, 127026, ISSN 0960-8524, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127026>.

YANG, S.; WEN, Q.; CHEN, Z. Effect of KH₂PO₄-modified biochar on immobilization of Cr, Cu, Pb, Zn and as during anaerobic digestion of swine manure. **Bioresource Technology**, v. 339, 1 nov. 2021. DOI: [10.1016/j.biortech.2021.125570](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125570)