

RESSALVA

**Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo deste
documento será
disponibilizado somente a
partir de 08/02/2028.**

BRENDA CLARA GOMES RODRIGUES

Nova Configuração de Reator UASB para Co-Digestão de Resíduos Agroindustriais (Melaço de Soja e Lignina) visando a geração de Bioenergia

Tese apresentada ao Instituto de Química de Araraquara, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Biotecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Sarti

Araraquara
2024

R696n Rodrigues, Brenda Clara Gomes
Nova configuração de reator UASB para co-digestão de
resíduos agroindustriais (melaço de soja e lignina) visando a
geração de bioenergia / Brenda Clara Gomes Rodrigues. --
Araraquara, 2024
163 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Instituto de Química, Araraquara
Orientador: Arnaldo Sarti

1. Biogás. 2. Oxidação eletrolítica. 3. Biorreatores. 4.
Digestão de águas residuais. 5. Fenóis. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do
Instituto de Química, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Impacto potencial desta pesquisa

O estudo de novas configurações de reatores anaeróbios tem o potencial de trazer impactos significativos em diversas áreas. Essas inovações podem aumentar a eficiência energética ao produzir biogás a partir de resíduos orgânicos, contribuindo para uma geração de energia mais limpa e renovável. Além disso, ao possibilitar o tratamento eficaz de resíduos, esses reatores ajudam a reduzir a poluição ambiental e a promover uma abordagem de economia circular, onde os subprodutos são reutilizados e valorizados.

A produção de biogás a partir de resíduos orgânicos também contribui para a mitigação das mudanças climáticas, evitando a liberação de metano, um potente gás de efeito estufa. Além disso, o estudo dessas novas configurações impulsiona o desenvolvimento tecnológico e a inovação na área de tratamento de resíduos e geração de energia sustentável, fornecendo soluções mais eficientes e sustentáveis para os desafios ambientais e energéticos enfrentados pela sociedade.

Além do aspecto energético, a digestão anaeróbia também resulta na produção de biofertilizantes. Esses fertilizantes orgânicos, ricos em nutrientes, têm o potencial de melhorar a fertilidade do solo, substituindo parcial ou totalmente os fertilizantes químicos convencionais. Isso não apenas reduz os impactos ambientais associados à produção de fertilizantes sintéticos, mas também promove práticas agrícolas mais sustentáveis.

No entanto, muitos resíduos agroindustriais contêm substâncias poluentes, incluindo fenóis provenientes de processos industriais. Durante o processo de digestão anaeróbia é possível reduzir compostos tóxicos, como os fenóis, transformando-os em componentes menos nocivos. Isso representa uma abordagem eficaz para a remoção de poluentes, contribuindo para a descontaminação de resíduos antes de serem descartados ou reutilizados.

Essa integração entre tratamento de resíduos, geração de energia e descontaminação ambiental destaca a versatilidade e a abrangência dos benefícios proporcionados por essa abordagem na sustentabilidade global. Ao integrar essas tecnologias na gestão de resíduos agroindustriais, as pesquisas contribuem para a construção de um ciclo mais fechado e eficiente na indústria agroalimentar. Isso não apenas atende às demandas crescentes por sustentabilidade, mas também cria oportunidades para inovação e desenvolvimento econômico, alinhando as práticas industriais com os princípios da economia circular e as ODS.

Potential impact of this research

The study of new configurations of anaerobic reactors has the potential to bring significant impacts in various areas. These innovations can enhance energy efficiency by producing biogas from organic waste, contributing to cleaner and renewable energy generation. By enabling effective waste treatment, these reactors also help reduce environmental pollution and promote a circular economy approach, where by-products are reused and valued.

The production of biogas from organic waste also contributes to mitigating climate change by avoiding the release of methane, a potent greenhouse gas. Furthermore, the study of these new configurations drives technological development and innovation in the field of waste treatment and sustainable energy generation, providing more efficient and sustainable solutions to the environmental and energy challenges faced by society.

In addition to the energy aspect, anaerobic digestion also results in the production of biofertilizers. These nutrient-rich organic fertilizers have the potential to improve soil fertility, partially or completely replacing conventional chemical fertilizers. This not only reduces the environmental impacts associated with synthetic fertilizer production but also promotes more sustainable agricultural practices.

However, many agro-industrial wastes contain pollutant substances, including phenols from industrial processes. During the anaerobic digestion process, it is possible to reduce toxic compounds, such as phenols, by transforming them into less harmful components. This represents an effective approach to pollutant removal, contributing to waste decontamination before being disposed of or reused.

This integration between waste treatment, energy generation, and environmental decontamination highlights the versatility and breadth of benefits provided by this approach to global sustainability. By integrating these technologies into agro-industrial waste management, research contributes to building a more closed and efficient cycle in the agri-food industry. This not only meets the growing demands for sustainability but also creates opportunities for innovation and economic development, aligning industrial practices with the principles of the circular economy and the Sustainable Development Goals (SDGs).

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: "Nova Configuração de Reator UASB para Co-Digestão de Resíduos Agroindustriais (Melaço de Soja e Lignina) visando a geração de Bioenergia."

AUTORA: BRENDA CLARA GOMES RODRIGUES

ORIENTADOR: ARNALDO SARTI

COORIENTADOR: ARNALDO SARTI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Biotecnologia, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ARNALDO SARTI (Participação Presencial)
Departamento de Engenharia, Física e Matemática / Instituto de Química do Campus de Araraquara da Unesp

Prof. Dr. GUSTAVO HENRIQUE RIBEIRO DA SILVA (Participação Presencial)
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia - UNESP - Bauru

Profa. Dra. ROSE MARIA DUDA (Participação Presencial)
Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza / Faculdade de Tecnologia - FATEC - Jaboticabal

Prof. Dr. ERICH KELLNER (Participação Presencial)
Departamento de Engenharia Civil / Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia - UFSCar - São Carlos

Prof. Dr. LUCIANO FARIA DE NOVAES (Participação Presencial)
Departamento de Engenharia Civil / UNAERP - Ribeirão Preto

Araraquara, 08 de fevereiro de 2024

Dados Curriculares

IDENTIFICAÇÃO

Nome: Brenda Clara Gomes Rodrigues

Nome em citações bibliográficas: **Rodrigues, B. C. G.**

e-mail: brendaclaragr@gmail.com

ENDEREÇO PROFISSIONAL

Departamento de Bioquímica e Tecnologia Química, Instituto de Química de Araraquara, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP. Rua Prof. Francisco Degni, 55, Bairro Quitandinha, CEP: 14800-060 – Araraquara, SP

FORMAÇÃO ACADÊMICA/TITULAÇÃO

2010-2016: Bacharelado em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia

Universidade Federal do Tocantins – Campus Gurupi.

Monografia: “Sensibilidade *In Vitro* de *Sclerotium rolfsii* à Farinha de Mostarda Etíope”

Orientador: Prof. Dr. Gil Rodrigues dos Santos

2014-2015: Graduação Sanduiche (Biotecnologia Industrial)

Università di Pisa – UNIPI/Itália

Bolsa: CAPES

2017-2019: Mestrado em Biotecnologia

Instituto de Química de Araraquara, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Araraquara.

Dissertação: “Aproveitamento do Melaço de Soja para produção de biometano em reator UASB”

Orientadora: Profa. Dra. Maria Lúcia Gonsales da Costa Araújo

Bolsa: CAPES

FORMAÇÃO COMPLEMENTAR

2020-2020: Segurança em Laboratórios: Aspectos Ambientais e Ocupacionais. (Carga horária: 60h). Universidade Federal de São Paulo, UNIFESP, Brasil.

2021-2021: MBA em Gestão Ambiental. (Carga Horária: 360h). Universidade Anhanguera - Uniderp, UNIDERP, Brasil.

2023 - em andamento: ESG e GESTÃO – ESALQ/USP. (Carga horária: 180h). Universidade de São Paulo, USP, Brasil.

ATUAÇÃO PROFISSIONAL

Empresa: NATCROM SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS

Período: Maio/2022 – Fevereiro/2023.

Cargo: Pesquisadora convidada.

PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA

1. Artigos completos publicados em periódicos

Rodrigues, B. C. G.; Mello, B. S.; Silva, G. H. R.; Costa, M. L. G.; Sarti, A. Soybean molasses as feedstock for Sustainable Generation of Biomethane using High-Rate Anaerobic Reactor. *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, v. 9, p. 1-8, 2021.

Rodrigues, B. C. G.; Mello, B. S.; da Silva, B. F.; Pozzi, E.; Gomes, P. C. F. De L.; Sarti, A. Limonene removal using a horizontal-flow anaerobic immobilized biomass bioreactor. *Journal Of Water Process Engineering*, v. 43, p. 102225, 2021.

Rodrigues, B. C. G.; Mello, B. S.; Araújo, M. L. G. C.; Silva, G. H. R. da; Sarti, A. Utilização de melaço de soja (resíduo) da produção de proteína de soja para a geração de biometano em reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*). *Revista Tecnologia*, v. 41, p. 1-14, 2020.

Mello, B. S., **Rodrigues, B.C.G.**, Sarti, A. Comparative Performance of High-Rate Anaerobic Reactors for Biodegradation of Soybean Molasses. *Journal: Environmental Technology e Innovation*. v. 24, p. 101937, 2021.

Mello, B. S., **Rodrigues, B.C.G.**, Sarti, A. Uso do melaço de soja como substrato para a digestão anaeróbia/aeróbia em reator compartimentado. *Journal: Brazilian Journal of Development*. v. 7, n. 10, 2021.

Kitamura, S. H. P.; Silva, L. M.; Batista, F. K.; Mello, B. S.; **Rodrigues, B. C. G.;** Sarti, A. Co-digestão anaeróbia de resíduos agroindustriais (melaço de soja e glicerol) em reator anaeróbio horizontal de leito fixo. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, p. 6144, 2022.

Mello, B. S.; **Rodrigues, B. C. G.;** Medina, K. J. D.; Sarti, A. Biological Degradation of Soybean Molasses by Modified Anaerobic-Aerobic Baffled Reactor. *BioEnergy Research*, v. 1, p. 1-10, 2022.

Mello, B. S., Pozzi, A., **Rodrigues, B. C. G.**, Costa, M. A. M., Sarti, A. Anaerobic digestion of crude glycerol from biodiesel production for biogas generation: Process optimization and pilot scale operation. *Environmental Research*. v. 1, p. 117938, 2024.

2. Artigos Submetidos para Publicação

Brenda C. G. Rodrigues; Bruna S. de Mello; Luana C. Grangeiro; Kelly Dussán; Arnaldo Sarti. Principal technologies and highlights for biogas production in the world. Journal: Air e Waste Management Association.

3. Capítulos de Livro publicados

Rodrigues, B. C. G.; de Mello, B. S.; Grangeiro, L. C.; Sarti, A.; Dussán, Kelly J. Microbial Degradation in the Biogas Production of Value-Added Compounds. Environmental and Microbial Biotechnology. 1ed.: Springer Singapore, p. 47-90, 2021.

Sarti, A.; **Rodrigues, B. C. G.**; Mello, B. S.; Costa, M. A. M.; Oliveira, S. C. Estudo Experimental e Modelagem Matemática de um Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF) para Tratamento Biológico de Efluente Sintético Contendo D-limoneno. *In: SILVA, H. C. (org). Demandas Essenciais para o Avanço da Engenharia Sanitária e Ambiental 4.– Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020, cap 6, p. 86 – 97, 2020.*

Grangeiro, L. C.; de Mello, B. S.; **Rodrigues, B. C. G.**; Rodrigues, C. V.; Marin, D. F. C.; Carvalho Junior, R. P.; Pires, L. O.; Maintinguer, S. I.; Sarti, A.; Dussán, K. J. M. Dark Fermentation and Principal Routes to Produce Hydrogen. *In: Inamuddin; Tariq Altalhi; Sayed Mohammed Adnan; Mohammed A. Amin. (Org.). Materials for Hydrogen Production, Conversion, and Storage. 1ed.: John Wiley e Sons, 2023, v., p. 181-223.*

4. Trabalhos publicados em anais de congressos

Rodrigues, B. C. G.; Mello, B. S.; Costa, M. A. M.; Sarti, A. Dewatering of drinking-water treatment sludge by spray-drying technology. 31th European Biomass Conference e Exhibition (EUBCE 2023), 2023.

Rodrigues, B. C. G.; Araújo, M. L.; Mello, B. S.; Sarti, A. Uso de Reator UASB para Geração de Biogás e Tratamento de Subproduto Gerado na Produção de Proteína Concentrada de Soja (melaço de soja) de Soja d. *In: XXX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES 2019), 2019, Natal - RN. XXX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES 2019), 2019.*

Rodrigues, B. C. G.; Medina, K. J. D.; Costa, M. L. G.; Mello, B. S.; Sarti, A. Biological treatment of soybean molasses in two different low-cost reactors. *In: 16th World Conference on Anaerobic Digestion (IWC), 2019, Delft- Holanda. 16th World Conference on Anaerobic Digestion (IWC), 2019.*

Rodrigues, B. C. G.; Mello, B. S.; Batista, F. K.; Sarti, A. Low-Cost Disposal Of Soybean Molasses Using Anaerobic Treatment. *In: 27th European Biomass Conference e Exhibition (EUBCE 2019), 2019, Lisboa - Portugal. 27th European Biomass Conference e Exhibition, 2019.*

Rodrigues, B. C. G.; Sarti, A.; Araujo, M. L. G. C. Aproveitamento do melaço de soja para produção de biogás em reator UASB. XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Química – COBEQ, São Paulo, 2018.

Pozzi, E.; Motteran, F.; Mello, B. S.; **Rodrigues, B. C. G.**; Sarti, A. Biomass Profiling in a Horizontal Flow Anaerobic Bioreactor for the Purpose of Limonene Degradation. 32º Congresso Brasileiro de Microbiologia, 2023.

Muci, M. R. N.; **Rodrigues, B. C. G.**; Mello, B. S.; Sarti, A. Biogas potential from co-digestion of soybean molasses and treated lignin from sugarcane bagasse treated by electro-oxidation: Preliminary batch results. XXIV Simpósio Brasileiro de Eletroquímica e Eletroanalítica, 2023.

Sarti, A.; **Rodrigues, B. C. G.**; Costa, M. A. M.; Mello, B. S.; Oliveira, S. C. Tratamento Biológico de D-Limoneno em Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo (RAHLF) - Estudo Experimental e Modelagem Matemática. *In*: XXX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES 2019), 2019, Natal - RN. XXX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2019.

Batista, F. K.; **Rodrigues, B. C. G.**; Mello, B. S.; Sarti, A. Tratamento Biológico de Melaço de Soja em Reator Compartmentado Anaeróbio/Aeróbio. *In*: IV Semana da Engenharia Química (IQA/UNESP), 2019, Araraquara - SP. IV Semana da Engenharia Química (IQA/UNESP), 2019.

Mello, B. S.; Batista, F. K.; **Rodrigues, B. C. G.**; Sarti, A. Tratamento Biológico de Subproduto Gerado na Produção de Proteína Concentrada de Soja (melaço de soja) em Reator Compartmentado Anaeróbio/Aeróbio (RCCA). *In*: XXX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES 2019), 2019, Natal - RN. XXX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES 2019), 2019.

Sarti, A.; Batista, F. K.; Silva, L. M.; Mello, B. S.; **Rodrigues, B. C. G.** Anaerobic Co-Digestion of Soybean Molasses And Glycerol In Hais Reactor. *In*: 27th European Biomass Conference e Exhibition (EUBCE 2019), 2019, Lisboa - Portugal. 27th European Biomass Conference e Exhibition (EUBCE 2019), 2019.

Batista, F. K.; Silva, L. M.; **Rodrigues, B. C. G.**; Mello, B. S.; Sarti, A. Co-digestão de Resíduos Agroindustriais (Melaço de Soja e Glicerol) em Reatores Anaeróbio e Aeróbio. *In*: XXXI Congresso de Iniciação Científica da UNESP, 2019. XXXI Congresso de Iniciação Científica da UNESP, 2019.

Almeida, A. F. De; Teixeira, W. F. A.; **Rodrigues, B. C. G.**; Carvalho, L. P.; Santos, C. A. A. Development of mixed-culture using filamentous fungif or plant cell wall degrading-enzymes production in solid state cultivation. VIII Congresso Brasileiro de Micologia, Florianópolis, 2016.

5. Participação em Bancas

Sarti, A.; **Rodrigues, B. C. G.**; Costa, M. A. M. Participação em banca de Rafael Pinatti. Usos e Aplicações do Melão de Soja. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Instituto de Química - UNESP/Araraquara.

Sarti, A.; **Rodrigues, B. C. G.**; Pires, L. O. Participação em banca de Lucas Monteiro Cordeiro. Avaliação de Nova Configuração de Reator UASB para Tratamento de esgoto Sanitário. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Instituto de Química - UNESP/Araraquara.

6. Participação em eventos científicos

IV ENQBIOTEC - Encontro Nacional de Química Biotecnológica e Agroindustriais. Degradação Anaeróbia do Melão de Soja em Reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) para a produção de Biometano. 2021.

Simpósio de Tecnologia Ambiental, Biocombustíveis e Marketing. Tratamento Biológico De Melão De Soja Em Diferentes Configurações De Reatores Anaeróbios. 2021.

CONDESSUS - 1ª Edição do Congresso Online de Desenvolvimento Sustentável, Abril de 2021.

Virtual Conference: The Latin American Meetings on Anaerobic Digestion (J-DAAL). Multi-phased anaerobic baffled reactor with effluent recirculation treating soybean protein by-product (soybean molasses). 2020.

16th World Conference on Anaerobic Digestion (IWC), Delft- Holanda, 2019.

*Ao meu avô, José de Azevedo Gomes, minha
inspiração e meu mentor, para sempre.*

*A minha avó, Maria José Clara Gomes, meu norte e
minha força diária.*

*A minha mãe, meus irmãos e meu cunhado, Clézia,
Bruna, Dudu e Alê, meu porto seguro e minhas asas.*

Dedico.

Agradecimentos

Eu sempre penso em como seria uma possível vida se tivesse feito outras escolhas e sempre chego à conclusão de que seria impossível não ter vivido tudo o que vivi. Seria lamentável não ter conhecido ou desconhecido tantas pessoas, seria um vazio não ter acreditado nessa escolha. Pensar em não ter meus olhos brilhando e meu coração acelerado a cada desafio e a cada vitória que obtivemos nessa jornada, por vezes sonhadora, por vezes realista, é inconcebível. É incrível como é impossível desvincular essa fase do que serão todas as minhas decisões futuras, e não só profissionalmente.

Confesso que é desolador olhar para minha tese e não poder transmitir nenhum dos sentimentos que senti ao longo do seu desenvolvimento, mas compreendo que é assim que tem que ser. Confesso ainda o quão delicioso e doloroso pode ser viver mais de mil vidas em um doutorado. O agradecimento, tão clichê nessas páginas, vai muito além das ajudas físicas desse trabalho, das conversas para sanar alguma dúvida, das opiniões solicitadas para tomada de decisões, das pausas para o café, do dia a dia de laboratório...

Nunca imaginei que enfrentaria um dos maiores desafios da minha vida em um período tão repleto de medos, solidão, incertezas e polaridades. Ter seguido em frente e encarado o doutorado no meio de uma pandemia e com o cenário político da época foi a lição de vida mais dolorosa que aprendi sobre o que é importante de verdade. Isso me mudou, me moldou e me preparou para cada instante da minha vida daqui em diante.

Foram cinco anos e ainda me lembro de cada dia difícil, de cada saudade apertada, de cada autossabotagem, de cada crise de ansiedade, noites mal dormidas e vontade de desistir. Mas eu sei que a chuva cai para todo mundo, e ela cai diferente para cada um. Eu tive a sorte de ter tido vários guarda-chuvas durante todas as minhas tempestades, que me ajudaram a molhar só os pés e nunca permitiram que eu me afogasse. Sempre estive muito bem amparada, sempre tive muita sorte de ter a família que tenho e de ter encontrado tantas pessoas incríveis que me ajudaram a regar raízes tão fortes de amizade, respeito e confiança.

Em outra ocasião eu escrevi que os maiores títulos que posso vir a ter foram aqueles que adquiri em casa... respeito, empatia, coragem (muita coragem), caráter, justiça e força me levaram longe, me ensinaram a discernir sobre as posições e locais que gostaria de estar ou não. A minha mamis, meu exemplo de fortaleza, obrigada por sempre estar do meu lado e me incentivar independente das minhas escolhas, por me mostrar todo dia como eu quero me colocar nesse mundo como pessoa. Minha vózinha, dona do maior amor que eu posso sentir, a senhora e meu vózinho foram os primeiros a me dizerem que essa conquista era possível, que o estudo iria me proporcionar a liberdade que ninguém poderia me dar, obrigada por ter me dado uma vida de liberdade.

Aos meus irmãos e meu cunhado, Bruna, Dudu e Alê, obrigada por serem meu porto seguro, por me ensinarem tanto e sobre tudo, de todos os privilégios que já tive nessa vida, ter vocês comigo incondicionalmente é o maior e mais importante. Obrigada as minhas tias e primos que sempre me apoiaram e por estarem presentes nessa árdua jornada. Eu tenho muito orgulho de fazer parte do que somos, ser quem somos, amo vocês.

Ainda sobre família, eu nunca seria nada sem meus amigos, sem minha segurança fora de casa. Mais sorte do que ter cada um na minha vida é ter cada um sempre presente, vocês me ensinam a ser uma pessoa melhor por outras perspectivas. Eu seria um deserto sem tanta singularidade para alimentar a minha chama de vida. Obrigada por me escolherem e fazer com que eu ficasse, para sempre.

Em especial quero agradecer ao Arnaldo Sarti, que foi meu orientador (finalmente rsrs), que é meu amigo, minha referência de profissional e de ser humano. Se eu cheguei sã e salva

até aqui devo muito a você. Obrigada por não ter medido esforços, sempre ter se importado, escutado e se feito presente até quando não era sua obrigação. Como você diz “somos poucos, mas fazemos barulho” e só conseguimos porque você é o capitão desse navio, e que nossa parceria se fortaleça e nos leve para outros mares. É e sempre foi um prazer ter tido a oportunidade de me tornar a profissional que sou a partir dos seus ensinamentos. Você sempre vai ser a minha pessoa favorita para compartilhar todas as ideias irrealizáveis de trabalhos que se passam pela minha cabeça.

Sarti, apesar da minha teimosia, quero agradecer por sempre ter me dado asas e nunca uma gaiola, com o doutorado aprendi que nada se encerra, a pesquisa nunca acaba, nós só temos que escolher como fazer e com quem fazer. Não foi à toa que chegamos até aqui. Quero agradecer a você, a Regina e as meninas por sempre me receberem tão bem. Tenho muita sorte de ter vivido essa etapa com vocês.

Quero agradecer ao João Lucas, meu amigo, minha união estável (haha), meu irmão, confiante, parceiro de roles aleatórios, por ter estado do meu lado esse tempo todo, por ter me levado para o seio da sua família e por ter me feito sua família também. Você é uma das melhores pessoas que já conheci, obrigada por ter me proporcionado lembranças inenarráveis e por ter deixado momentos difíceis parecerem fáceis.

Bruna Mello, meu time, minha dupla, minha irmã da pós, meu grupo de pesquisa todinho. A gente é f*da! Obrigada, obrigada e obrigada por ter estado comigo durante todo o doutorado, dentro e fora dele. Esse trabalho é nosso, é um ciclo que se fecha e uma parceria que se perpetua. É incrível como nossas diferenças se complementam, e foi nas diferenças que encontramos um dos bens mais preciosos de vida para mim, a segurança de uma parceria verdadeira. Quero agradecer a você e o Ga por me permitirem fazer parte da vida de vocês fora do laboratório. Muita admiração e amor por essa família fantástica.

Quero agradecer ao Rafa Almeida, nem acredito que chegamos intactos e mais fortes nesse ponto de nossas vidas. Quantas vezes eu fugi do doutorado e bati na sua porta? Inúmeras! Obrigada por ser minha melhor fuga, por continuar confiando em mim, por querer corrigir minha tese (haha), por ser parte de mim para sempre. Independente dos nossos caos, estamos sempre um pelo outro. Obrigada por ter me apresentado ao Roger e ao Rafael, meu trisal, que me fizeram tão feliz a cada encontro. E obrigada por ter me apresentado ao Thiago, a quem tenho tanta admiração e que sempre me recebeu tão bem com tantas conversas enriquecedoras. A gente só suporta o fardo quando temos um tempo de descanso, e vocês foram minha pausa de descanso. Obrigada do fundo do meu coração.

Quero agradecer a Bárbara e ao Jonathan, que foram minhas fugas também, meus colos, que cuidaram tão bem de mim. Botucatu e Ribeirão Preto foram minhas rotas favoritas por tanto tempo, ter tido vocês não só durante o doutorado, mas por tantos anos, só mostra que tenho conseguido cultivar relações verdadeiras e permanentes. Eu amo, admiro e respeito vocês! Obrigada por sempre estarem disponíveis.

Meus amigos e vizinhos, Max Falone, que me salvou na pandemia e não me deixou sozinha em 2020, você foi minha sustentação quando tudo parecia perdido. Rafa, que além de fazer meus desenhos, me amparou, me alimentou e me fez companhia quando eu precisei. Obrigada pela amizade e apoio.

Mayra, Gibbs e Amandinha, vocês me abandonaram no meio da jornada haha, mas eu nunca saberia dizer o que seria dessa vida sem vocês. Obrigada por serem parte do que sou hoje dentro e fora da pós-graduação.

Quero agradecer a Isabel, Luiz e as meninas. Vocês são um ponto de luz nessa cidade que por vezes já me deixou tão solitária. Obrigada por me aconselharem, me escutarem e terem me acolhido com admiração e confiança.

Yasmim, obrigada por me deixar fazer parte do seu lugar no mundo, foi aí que boa parte desse trabalho foi escrito, e estar em casa para isso e com você todos os dias foi a calma que eu precisava. Obrigada por entender, me apoiar e me ajudar a sustentar cada passo a quase 30 anos. Eu amo você e meus meninos, para sempre.

Meu querido Gabriel, Gaga, obrigada por ter caminhado comigo nessa jornada sem cerimônias, me tirando da rotina, por ser parceiro, por me mostrar que para ser amigo é mais fácil do que pular de paraquedas. Obrigada por ter facilitado minha vida em terras estrangeiras e por ter me apresentado a malta jovem. A minha maltinha, tão querida, Ana, João, Karina e Edi, obrigada por terem feito parte de um período tão necessário e que bom que foi com vocês. Obrigada por cada viagem e fofoca. Eu sempre estarei aqui para cada um de vocês.

As minhas musinhas de Portugal, Day obrigada por ter me permitido te conhecer, por ter sido minha parceira, amiga e um alento em Aveiro. Minha hora ficou cara, mas para você sempre será de graça. Lidi, que sorte a minha ter te encontrado nessa aventura, meu contraponto, obrigada por se importar sempre.

Quero agradecer a todo o pessoal do projeto de produção de álcool em gel. Por muitos meses vocês foram a melhor parte do meu dia no meio da pandemia. Em especial as amigadas que romperam a pandemia, Silvia, Rodolfo e Rafael, que me auxiliaram sempre que precisei.

Diante de tantas pessoas fundamentais que estiveram presentes nesse período ou que sempre estiveram na minha vida, existem aquelas que comumente chamamos de colaboradores. Costumo pensar nos meus colaboradores como a malha ferroviária da Europa, em que eles tornaram meu caminho em direção aos meus objetivos mais fácil, leve e cheio de conhecimento de forma eficiente. Da janela do meu vagão, vocês me proporcionaram as mais belas paisagens e me levaram a lugares incríveis.

Minha eterna admiração ao Prof. Ariovaldo e a Kiane, por terem sido fundamentais no desenvolvimento dessa pesquisa, por me trazerem soluções e por não medirem esforços para me ajudar, sempre disponíveis. Ter tido o apoio e a disponibilidade de vocês foi fundamental para que uma ideia se tornasse realidade. Muito obrigada.

Meus sinceros agradecimentos aos alunos de iniciação científica, meus meninos, Matheus, Marcos, Lucas e Maria Rosa, que me ajudaram tanto nesse trabalho, foi um prazer fazer parte do desenvolvimento profissional de vocês e poder aprender junto, sempre com comprometimento e responsabilidade, amizade e diversão. Obrigada.

A Profa. Kelly, obrigada pela orientação e pela parceria.

A Janja e Eloisa, do LPB/USP-São Carlos, pela paciência, simpatia e disponibilidade.

A toda a equipe do Instituto de Química, que zela tão bem por quem aqui passa.

Agradeço a UNESP pela bolsa de estágio internacional.

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

*“Tem dias que a vida é
um ato de coragem.”*

Vanguart.

*“Eu não luto para ganhar,
eu luto para ser fiel até o fim.”*

Padre Júlio Lancelotti.

Resumo

Com os avanços tecnológicos e o atual comportamento global de consumo, as questões relacionadas às mudanças climáticas, meio ambiente e energia sustentável estão cada vez mais em destaque. No campo científico, há uma busca pela integração dessas áreas, incluindo o uso de resíduos agroindustriais para gerar energia limpa. Economicamente, o Brasil se destaca como uma potência agrícola, sendo um grande produtor, exportador e consumidor de soja e cana-de-açúcar, fundamentais para produção de alimentos e biocombustíveis. No entanto, o processamento dessas *commodities* resulta em grandes volumes de resíduos, como o melaço de soja e a lignina. Neste estudo, foram avaliados dois reatores UASB modificados em escala de bancada (16,5 L e 20,3 L) para tratar melaço de soja e lignina por co-digestão anaeróbia em sistema em dois estágios, visando à produção de biogás. O tempo de detenção hidráulica (TDH) ótimo obtido para o tratamento de melaço de soja foi estimado em 24 horas para concentrações de DQO entre 500-2000 mgO₂L⁻¹. Para a lignina, foi utilizado um pré-tratamento de eletrooxidação, que reduziu sua recalcitrância em mais de 80%. Assim, no primeiro estágio foi fixado TDH de 24 horas, enquanto o segundo teve um TDH de 19,5 horas, com a concentração de DQO mantida em cerca de 1000 mgO₂L⁻¹ durante toda a co-digestão. Foram realizadas cinco fases experimentais, variando a proporção de lignina no meio de alimentação de 15% a 30%. Com isso, foi verificado que os reatores alcançaram eficiências de remoção superiores a 90% em termos de DQO e remoção de compostos fenólicos de cerca de 80% no efluente final. Durante os ensaios de atividade metanogênica específica (AME), a lignina pré-tratada apresentou um potencial superior de geração de metano em comparação com a lignina não tratada quando co-digerida com melaço de soja. Já nos reatores no sistema em dois estágios, a produção de biogás atingiu um pico de 5,3 L por dia quando tratando apenas melaço de soja, mas houve uma redução para aproximadamente 2,5 L por dia quando a lignina pré-tratada foi adicionada. No entanto, a produção aumentou gradualmente para cerca de 3,5L por dia com a adaptação da biomassa ao substrato misto. Concentrações de metano no biogás foram consistentemente superiores a 70%. Em resumo, os resultados experimentais indicaram que a nova configuração do reator de alta taxa é eficaz na produção de metano a partir de melaço de soja e lignina pré-tratada, além de ter potencial no tratamento de compostos tóxicos e recalcitrantes.

Palavras-chave: Biogás; Oxidação eletrolítica; Biorreator; Digestão de águas residuais; Fenóis.

Abstract

With technological advancements and current global consumption trends, issues related to climate change, the environment, and sustainable energy are increasingly prominent. In the scientific realm, there is a pursuit of integrating these areas, including using agro-industrial residues for clean energy generation. Economically, Brazil stands out as an agricultural powerhouse, being a significant producer, exporter, and consumer of soybeans and sugarcane, crucial for food and biofuel production. However, processing these commodities results in substantial waste volumes, such as soy molasses and lignin. This study evaluated two bench-scale modified UASB reactors (16.5 L and 20.3 L) for anaerobic co-digestion of soy molasses and lignin in a two-stage system, aiming for biogas production. The optimal hydraulic retention time (HRT) for treating soy molasses was estimated at 24 hours for COD concentrations between 500-2000 mgO₂L⁻¹. For lignin, electro-oxidation pretreatment was employed, reducing its recalcitrance by over 80%. Thus, the first stage had a fixed HRT of 24 hours, while the second had an HRT of 19.5 hours, with the COD concentration maintained at around 1000 mgO₂L⁻¹ throughout co-digestion. Five experimental phases were conducted, varying the proportion of lignin in the feedstock from 15% to 30%. Consequently, it was found that the reactors achieved removal efficiencies exceeding 90% in terms of COD, with approximately 80% removal of phenolic compounds in the final effluent. During specific methanogenic activity tests, pre-treated lignin exhibited higher methane generation potential compared to untreated lignin when co-digested with soy molasses. In the two-stage system reactors, biogas production peaked at 5.3 L per day when treating only soy molasses, but decreased to approximately 2.5 L per day when pre-treated lignin was added. However, production gradually increased to around 3.5 L per day with biomass adaptation to the mixed substrate. Methane concentrations in biogas consistently exceeded 70%. In summary, experimental results indicate that the new configuration of the high-rate reactor is effective in methane production from soy molasses and pre-treated lignin, with potential in treating toxic and recalcitrant compounds.

Keywords: Biogas; Electrolytic oxidation; Bioreactor; Wastewater digestion; Phenols.

Lista de Figuras

Figura 1 – Estrutura da biomassa lignocelulósica e sua disposição quanto a lignina, celulose e hemicelulose.	28
Figura 2 – Modelo estrutural da lignina.	29
Figura 3 – Unidades monolignóis da lignina.	30
Figura 4 – Ligações químicas mais abundantes na molécula da lignina.	31
Figura 5 – Eletrooxidação Indireta e Direta.	35
Figura 6 – Fluxograma simplificado do processo de obtenção do melão de soja a partir do farelo desengordurado da soja.	42
Figura 7 – Estrutura química dos principais açúcares presentes na composição do melão de soja. ...	44
Figura 8 – Principais rotas metabólicas da Digestão Anaeróbia.	47
Figura 9 – Configuração do reator UASB convencional.	53
Figura 10 – Esquema do reator UASB-U.	66
Figura 11 – Protótipos com volumes de a) 16,5 L (R2) e b) 22,0 L (R1) do reator UASB-U.	67
Figura 12 – Fluxograma da precipitação e quantificação da lignina.	71
Figura 13 – Reator eletroquímico e seus componentes para o processo de EO.	72
Figura 14 – Sistema de tratamento com reatores UASB-U interligados (a) planejado e (b) real.	78
Figura 15 – Manta de lodo acomodada no interior do reator UASB-U R1.	83
Figura 16 – Variação temporal de DQO ao longo do monitoramento preliminar.	84
Figura 17 – Curvas DTR para os ensaios sem biomassa com TDH de 24h (a), 18h (b) e 12h (c) e com biomassa de TDH de 24h (d), 12h (e) 8h (f).	88
Figura 18 – Variação temporal da concentração de DQOt (afluente e efluente) e eficiência de remoção.	92
Figura 19 – Variação temporal da concentração de AB e AVT no afluente e efluente.	94
Figura 20 – Variação temporal da concentração de SST e SSV no efluente.	96
Figura 21 – Variação temporal da (a) DQO do sobrenadante e (b) lignina precipitada após EO em diferentes DC.	99
Figura 22 – Variação temporal da DQOf ao longo do ensaio AME em diferentes DC.	103
Figura 23 – Variação temporal de FT ao longo do ensaio AME em diferentes DC.	105
Figura 24 – Produção de metano (a) acumulada e (b) diária em diferentes DC.	108
Figura 25 – Variação temporal de (a) DQOf e (b) FT ao longo do ensaio AME para EO otimizada.	116
Figura 26 – Produção de biogás (a) acumulada e (b) diária em CoDA.	120
Figura 27 – Variação temporal da (a) concentração de DQO total e (b) eficiência de remoção de DQOt.	123

Figura 28 – Variação temporal de (a) AVT e (b) AB no sistema em dois estágios.	124
Figura 29 – Variação temporal da (a) DQOt, (b) eficiência de remoção de DQOt, (c) FT e (d) eficiência de remoção de FT em dois estágios.	126
Figura 30 – Variação temporal AB no sistema em dois estágios.	131
Figura 31 – Variação temporal AVT no sistema em dois estágios.	132
Figura 32 – Concentração de ácido Gálico durante as fases 2, 3, 4 e 5 da CoDA.	136
Figura 33 – Concentração de ácido 3,5-dihidroxibenzoico durante as fases 2, 3, 4 e 5 da CoDA.	138
Figura 34 – Concentração de (a) 5-HMF e (b) Furfural durante as fases 2, 3, 4 e 5 da CoDA.	139
Figura 35 – Concentração de (a) ácido Cafeíco e (b) ácido 2,4-dihidroxibenzoico durante as fases 2, 3, 4 e 5 da CoDA.	141
Figura 36 – Quantidade de compostos fenólicos detectados durante a CoDA no afluente e efluentes dos reatores R1 e R2.	143
Figura 37 – Variação temporal da produção de biogás durante a fase 2 e 3 no reator R1.	144

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Exemplos de trabalhos representativos sobre despolimerização eletrooxidativa da lignina para obtenção de produtos específicos e remoção.	40
Tabela 2 – Composição do grão de soja.	41
Tabela 3 – Composição do melaço de soja.	43
Tabela 4 – Exemplos de trabalhos representativos sobre a utilização do melaço de soja como fonte de carbono para diferentes rotas metabólicas.	45
Tabela 5 – Principais vantagens e limitações da utilização do reator UASB.	58
Tabela 6 – Trabalhos utilizando reatores UASB-Y.	62
Tabela 7 – Composição do melaço de soja utilizado no estudo.	68
Tabela 8 – Condições experimentais da eletrooxidação da lignina residual em diferentes DC.	73
Tabela 9 – Planejamento experimental para avaliação de AME da lignina assistida por diferentes DC.	74
Tabela 10 – Parâmetros propostos para otimização da EO.	75
Tabela 11 – Planejamento experimental para avaliação de AME da lignina assistida por EO otimizada.	76
Tabela 12 – Condições experimentais para CoDA do melaço de soja e LEO.	78
Tabela 13 – Análises físico-químicas de monitoramento.	80
Tabela 14 – Dados hidrodinâmicos do reator UASB-U.	89
Tabela 15 – Parâmetros operacionais médios do afluente e efluente obtidos no reator UASB-U durante as fases 1 e 2.	92
Tabela 16 – Desempenho da EO com diferentes DC após 5h no tratamento de lignina residual.	101
Tabela 17 – Análises de ST, SV e SF da manta de lodo em ensaios AME com lignina assistida em diferentes DC.	106
Tabela 18 – Compostos fenólicos identificados durante a EO em diferentes DC.	109
Tabela 19 – Perfil temporal da EO otimizada no tratamento de lignina residual.	112
Tabela 20 – Compostos fenólicos identificados ao longo do tempo do tratamento por EO com DC de 35 mAc ^m - ²	113
Tabela 21 – Análises de ST, SV e SF do lodo inicial e coletado nos ensaios AME com lignina assistida por EO otimizada.	119
Tabela 22 – Valores médios de SST, SSV e porcentagem de SSV ao longo da CoDA.	133
Tabela 23 – Concentrações de ST, SV e ST do lodo ao longo do período experimental.	134
Tabela 24 – Composição do Biogás produzido em CoDA no R1.	145

Sumário

1	INTRODUÇÃO	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	28
2.1.	Lignina	28
2.1.1	Potencial da lignina residual do bagaço de cana-de-açúcar	32
2.1.2	Despolimerização da lignina.....	33
2.1.3	Mecanismo dos processos eletroquímicos - Eletrooxidação	35
2.1.4	Despolimerização da Lignina por Eletrooxidação	38
2.2	Melaço de soja	41
2.2.1	Potencial do Melaço de Soja	43
2.3	Digestão Anaeróbia	46
2.3.1	Co-digestão.....	49
2.4	Reatores UASB convencionais	51
2.4.1	Reatores UASB modificados com saída lateral com ângulo de 45° (UASB-Y)	60
3	OBJETIVOS	64
4	METODOLOGIA	65
4.1.	Etapa 1	65
4.1.1	Aspectos construtivos do reator anaeróbio – UASB-U	65
4.1.2	Inóculo.....	68
4.1.3	Melaço de Soja	68
4.1.4	Testes preliminares	68
4.1.5	Ensaio Hidrodinâmicos (R1 e R2).....	69
4.2	Etapa 2	70
4.2.1	Digestão Anaeróbia do Melaço de Soja – Sistema de Tratamento Único.....	70
4.2.2	Licor negro obtido do bagaço de cana-de-açúcar	70
4.2.3	Precipitação e Quantificação da Lignina Residual.....	71
4.2.4	Pré-tratamento Eletrooxidativo (EO) da lignina residual em diferentes DC – Estudo inicial....	72
4.3	Etapa 3	75
4.3.1	Pré-tratamento eletrooxidativo (EO) de lignina residual – Otimização.....	75
4.3.2	Ensaio para determinar a Atividade Metanogênica Específica (AME) em CoDA de lignina assistida por EO e melaço de soja - Otimização.	76
4.3.3	DA e CoDA - Sistema de Tratamento em dois estágios.....	77
4.4	Metodologias analíticas de monitoramento	79
4.4.1	Análises físico-químicas.....	79
4.4.2	Quantificação e identificação dos compostos fenólicos	80
4.4.3	Composição do Biogás.....	81

5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	82
5.1	Etapa 1	82
5.1.1	Aspectos construtivos reator UASB-U	82
5.1.2	Testes preliminares – Monitoramento prévio de remoção de matéria orgânica (substrato: melaço de soja).	84
5.1.3	Estudo Hidrodinâmico	87
5.2	Etapa 2	91
5.2.1	Digestão Anaeróbia do Melaço de Soja – Sistema de Tratamento Único.....	91
5.2.2	Pré-tratamento da lignina residual por EO em diferentes DC.	98
5.2.3	Ensaio para determinar a Atividade Metanogênica Específica (AME) da lignina assistida por eletrooxidação (EO) em diferentes DC.....	103
5.3	Etapa 3	111
5.3.1	Pré-tratamento da lignina residual por EO em DC otimizada.	111
5.3.2	Ensaio para determinar a Atividade Metanogênica Específica (AME) em CoDA de lignina assistida por EO e melaço de soja.	116
5.3.3	DA e CoDA - Sistema de Tratamento em dois estágios.....	122
5.3.3.1	<i>Monitoramento da DA do melaço de soja em sistema em dois estágios – Fase 1.</i>	<i>122</i>
5.3.3.2	<i>Monitoramento da CoDA do melaço de soja e LEO em sistemas em dois estágios – Fases 2, 3, 4 e 5.....</i>	<i>125</i>
5.3.3.3	<i>Identificação e quantificação de Composto Fenólicos em CoDA.</i>	<i>135</i>
5.3.3.4	<i>Produção de Biogás em CoDA.</i>	<i>143</i>
6	CONCLUSÃO	147
	REFERÊNCIAS.....	149

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas três décadas, grandes preocupações acerca das mudanças climáticas e do aquecimento global têm sido debatidas em todo o mundo a partir da Conferência das Nações Unidas (ONU) sobre as Mudanças Climáticas (COP), iniciada em 1995 com sua primeira edição em Berlim, na Alemanha. Atualmente, a conferência está em sua 28ª edição, que foi discutido o balanço do Acordo de Paris (tratado climático histórico concluído em 2015) em Dubai, nos Emirados Árabes, entre novembro e dezembro de 2023 (ONU, 2023).

As principais preocupações estão ligadas ao aumento das temperaturas globais, que atingem novos recordes, e a fenômenos meteorológicos extremos cada vez mais frequentes, afetando populações inteiras ao redor do mundo com ondas de calor intensas, estiagens prolongadas, tempestades e inundações. Esses transtornos são ocasionados pelas mudanças climáticas, intimamente ligadas às emissões de gases do efeito estufa (GEE), fator gerado principalmente pelo consumo excessivo contemporâneo de energia, impulsionado pelo aumento demográfico mundial e pela forma de consumo da população (ONU, 2023; TNC, 2023).

Contribuem para esse cenário a rápida industrialização, dependência de combustíveis fósseis, aumento dos desmatamentos para o cultivo de monoculturas e a expansão da agropecuária, juntamente com a disposição inadequada de resíduos industriais e agroindustriais (ONU, 2023; TNC, 2023). No atual cenário, reduzir as emissões de GEE é primordial para preservar um clima habitável. Para alcançar esse objetivo, torna-se imprescindível migrar da utilização de combustíveis fósseis para energias renováveis e limpas. Isso se deve ao fato de que os principais GEE são o dióxido de carbono (CO₂) e o metano (CH₄), responsáveis por cerca de 90% das emissões de GEE provenientes da queima de combustíveis fósseis (EPA, 2023b; KUMAR, 2021).

Incentivos para aumentar o consumo de energias renováveis e o aproveitamento de resíduos para esse fim, vem também de encontro com os aspectos dos Objetivos Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, que visa enfrentar as mudanças climáticas e garantir acesso universal à energia e ar limpos. Além disso, abrange a preocupação da segurança energética, segurança alimentar e redução de resíduos dispostos no meio ambiente sem aproveitamento econômico e sustentável (BIJARCHIYAN et al., 2020). As ODS que são contempladas nesse cenário são a 2 (Fome zero e agricultura sustentável), 6 (água potável e

saneamento), 7 (energia limpa e acessível), 11 (cidades e comunidades sustentáveis) e 13 (mitigação das mudanças climáticas) (Pacto Global, 2021).

Nesse contexto, o Brasil se destaca por possuir uma matriz energética mais sustentável em comparação com a maioria dos outros países, sendo composta por 47,4% de fontes renováveis, em contraste, a média mundial é de apenas 15% (EPA, 2023a). Além disso, o Brasil é uma das potências mundiais em termos de produção agrícola e biocombustíveis, setores que impactam diretamente nas emissões de GEE. Dentro desses setores, a cana-de-açúcar e a soja ganham notoriedade, pois estão entre os 10 alimentos mais produzidos no mundo, com a cana ocupando a primeira posição e a soja o oitavo, e são matérias primas para produção de etanol e biodiesel. Vale enfatizar ainda que o Brasil é o maior produtor mundial dessas duas culturas (MAPA, 2018).

No processamento dessas *commodities*, são gerados os produtos de interesse, subprodutos e resíduos. A cana-de-açúcar produzida no país tem como principais destinações a produção de etanol e açúcar, e dentre os subprodutos gerados nesses processos, destaca-se o bagaço da cana. Este bagaço é comumente utilizado para alimentar caldeiras e gerar energia. No entanto, em abordagens mais sustentáveis, a produção de etanol de 2ª geração vem ganhando espaço no cenário econômico. Apesar disso, outros subprodutos gerados durante esse processo ainda carecem de destinação com valor agregado. Dentre eles, destaca-se a lignina, considerada como um dos maiores desafios para viabilizar a utilização de biomassa lignocelulósica como fonte energética sustentável (SUN *et al.*, 2018).

Neste caso, em termos de produção, para cada tonelada seca de biomassa (bagaço de cana), são produzidos cerca de 210 kg de lignina (cerca de 21% da composição da matéria vegetal). Nesse aspecto, devido à base de carbono ter sua propriedade inativa, a lignina é tipicamente tratada como resíduo na maioria dos atuais processos de Biorrefinarias e é queimada para produzir calor e energia (LI *et al.*, 2015).

Embora muitos estudos tenham se concentrado na conversão de lignina em produtos de valor agregados (por exemplo: fenol, benzeno, tolueno, lignosulfonatos e outros compostos químicos), o baixo rendimento e a qualidade inferior dos produtos recuperados, apenas alguns desses subprodutos podem ser comercialmente lucrativos (KIM *et al.*, 2018; SARATALE *et al.*, 2018; SI *et al.*, 2017).

Tal fato está diretamente relacionado às características da lignina, atribuídas principalmente à complexidade de sua estrutura como um polímero tridimensional amorfo.

Essa estrutura consiste em unidades fenilpropanoides metoxiladas variadas, sendo marcada pela recalcitrância (toxicidade) e alta reatividade das frações degradadas pela lignina, propensas a reações de condensação, o que dificulta sua valorização. Devido a esses fatores e à grande variabilidade em termos de composição, a recuperação da lignina da biomassa, mesmo mantendo a estrutura natural, é um desafio substancial. Isso a torna um resíduo que pode gerar enormes problemas ambientais se lançada ao meio ambiente sem tratamento prévio (LI *et al.*, 2015).

Por outro lado, tem-se a soja, com principal destinação à alimentação humana e animal. Com o processamento dos grãos de soja é possível obter um versátil portfólio de produtos, o que acarreta a produção de subprodutos sem interesse comercial e resíduos, pois cerca de 79% da soja produzida no Brasil é destinada para a fabricação de farelo de soja, cerca de 18% para produção de óleo de soja e 1% é considerado sem destinação específica (MAPA, 2018). Dentre os produtos derivados da soja, destaca-se a proteína concentrada de soja com grande interesse comercial, devido à crescente importância na alimentação humana.

De acordo com Yang e Yu (2013) a produção da proteína concentrada de soja (72% em termos de proteína), cujo produto é de grande interesse comercial no ramo alimentício, gera o subproduto melaço de soja, que é um concentrado remanescente da extração de proteínas da soja com etanol a partir do farelo de soja desengordurado. Para cada tonelada de farelo de soja, é produzido cerca 768,1kg de proteína concentrada de soja e cerca 231,9kg de melaço de soja (SIQUEIRA *et al.*, 2008).

Este subproduto já vem sendo observado por pesquisadores e indústrias devido a sua composição rica em carboidratos, sendo estudada como matéria prima para vários bioprocessos para obtenção de produtos de valor agregado como etanol, ácido láctico, goma xantana, ácido málico, recuperação de lecitina residual (emulsificante), biogás, dentre outros (CHENG *et al.*, 2017; MELLO *et al.*, 2021; LETTI *et al.*, 2012; ROCHA SILVA, 2010; RODRIGUES *et al.*, 2021; SIQUEIRA *et al.*, 2008) e como fonte de geração de energia para as indústrias, pelo processo de queima.

No entanto, ainda não existem processos consolidados para a utilização do melaço de soja devido aos polissacarídeos e fibras presentes em sua composição, que necessitam de pré-tratamento para liberação dos monômeros fermentescíveis, o que gera um aumento significativo de custos no processo industrial e limita a sua utilização como matéria prima para fins industriais (CHENG *et al.*, 2017).

Os resíduos agroindustriais, como mencionado anteriormente, demandam um manejo adequado para evitar possíveis problemas ambientais relacionados ao seu descarte. Nesse sentido, a utilização desses materiais para a produção de bioenergia emerge como uma solução apropriada para mitigar o impacto desses resíduos no meio ambiente. Diante disso, o processo biológico de digestão anaeróbia (DA) apresenta-se como uma alternativa viável (GIULIANO *et al.*, 2013; KARKI *et al.*, 2021).

A DA é uma tecnologia consolidada e amplamente utilizada para a gestão de resíduos, sendo empregada em larga escala para o tratamento de diversos tipos de resíduos, incluindo resíduos industriais e agroindustriais, tanto líquidos quanto sólidos urbanos, compostos e materiais recalcitrantes, além de lodos biológicos (DA ROS *et al.*, 2017).

A DA ocorre por meio do consórcio microbiano em condições anaeróbias, que atuam na conversão biológica da matéria orgânica presente nesses diversos resíduos (RODRIGUES *et al.*, 2021; SPEECE, 1996). A partir desse processo biológico, quando mantido em condições adequadas, é gerado o biogás, que pode ser rico em metano. O metano obtido pela DA é uma fonte de energia renovável derivada de processos sustentáveis, podendo ser um dos biocombustíveis que substitua parcial ou totalmente a utilização de combustíveis fósseis para combustível automotivo, geração de calor (queima) e eletricidade (FITAMO *et al.*, 2016).

No processo biológico de DA, os parâmetros operacionais e ambientais são de extrema importância, sendo a carga orgânica volumétrica aplicada (COVa) e o tempo de detenção hidráulica (TDH) os principais parâmetros que influenciam diretamente no processo. Encontrar o equilíbrio entre esses dois parâmetros é decisivo para otimizar a eficiência do processo (CAMPOS *et al.*, 2005, 2010; HAANDEL; LETTINGA, 1994).

Além dos parâmetros operacionais citados, é necessário que alguns parâmetros físico-químicos básicos estejam adequados para se obter um desempenho eficiente do processo, como temperatura, pH, alcalinidade, nutrientes (N e P) e a presença de compostos inibitórios. Estes fatores podem ser influenciados de acordo com a composição ou processo de obtenção do substrato utilizado, apresentando condições distantes das ideais, o que comprometeria o desempenho de todo o processo biológico. Portanto, é de extrema importância ter o cuidado para utilizar substratos com concentrações adequadas durante o processo de DA. Para tal propósito, tem-se utilizado frequentemente a co-digestão (ESPOSITO *et al.*, 2012; FITAMO *et al.*, 2016).

A co-digestão, em processo anaeróbio, consiste no tratamento combinado de dois ou mais substratos. A seleção apropriada dos substratos e suas proporções de mistura são os parâmetros mais importantes para obter uma composição adequada de co-substratos e, geralmente, são escolhidos para serem complementares. Isso gera o desenvolvimento de efeitos sinérgicos, mantendo um equilíbrio de nutrientes, demonstrados pela relação C/N na faixa ideal (ASTALS *et al.*, 2014).

Outros benefícios da co-digestão incluem a diluição de eventuais compostos potencialmente tóxicos, correção de pH e efeito tampão na mistura, ajuste do teor de umidade, aumento da concentração de matéria biodegradável, além da ampliação de microrganismos presentes no processo. Todos esses fatores podem resultar na otimização da produção de metano e na estabilidade do processo (ASTALS *et al.*, 2014; ESPOSITO *et al.*, 2012; FITAMO *et al.*, 2016).

A partir do monitoramento dos parâmetros operacionais já citados, tem-se utilizado reatores anaeróbios de alta taxa, em especial o reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB), devido as suas vantagens no tratamento de vários tipos de compostos simples ou complexos e na recuperação de energia (produção de biogás). Tal configuração de reator anaeróbio tornou-se amplamente utilizada no tratamento de águas residuárias nas últimas décadas, sendo este evidenciado em várias indústrias que realizam o próprio tratamento ou parte dele (CHERNICHARO *et al.*, 2018; NGWENYA *et al.*, 2022).

Uma característica interessante do reator UASB é o seu desempenho de manutenção de elevadas concentrações de biomassa, imobilizando e retendo microrganismos em forma de grânulos, flocos ou biomassa suspensa na sua parte inferior sob a forma de manta de lodo (LETTINGA; HULSHOFF, 1991; SARTI *et al.*, 2001). De acordo com Liu *et al.* (2015), a formação desses grânulos de biomassa melhora significativamente a capacidade dos reatores UASB de tratar as altas concentrações de matéria orgânica, além de ter uma versatilidade em tratar diversos substratos, inclusive compostos recalcitrantes ou tóxicos.

Vale ressaltar ainda, que o Brasil se destaca por ser o país com o maior parque de reatores anaeróbios do mundo, considerando a aplicação da tecnologia para tratamento de esgoto sanitário. Nesse cenário, cerca de 40% das estações de tratamento de efluentes (ETEs) localizadas nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil utilizam reatores UASB em seu fluxograma de tratamento. Dessa forma, nota-se que os reatores UASB são, atualmente, a

principal tendência em tratamento de esgotos no Brasil, como unidades únicas ou seguidos de algum processo de pós-tratamento (CHERNICHARO *et al.*, 2018).

No entanto, reatores UASB convencionais apresentam limitações operacionais, principalmente em termos de retenção de sólidos em suspensão. Mesmo sendo considerado um reator com boa retenção da manta de lodo, a presença de sólidos em suspensão no efluente final torna o processo inviável para o lançamento final em corpos d'água, necessitando de sistemas de pré e pós-tratamentos robustos para contornar essa limitação intrínseca ao UASB convencional (CAMPOS *et al.*, 2005; HAANDEL; LETTINGA, 1994; VAN LIER *et al.*, 2015).

Dessa forma, ao longo dos anos, após o desenvolvimento do UASB, muitos estudos se concentraram em melhorar a sua configuração com o intuito de reduzir principalmente a perda da manta de lodo no efluente e a recuperação de biogás, podendo assim expandir sua utilização de forma menos complexa e mais eficiente (DAUD *et al.*, 2018; FORESTI *et al.*, 2006; NGWENYA *et al.*, 2022).

Diante do exposto, o presente trabalho tem como finalidade geral o desenvolvimento de um reator UASB modificado para a produção de bioenergia da co-digestão da lignina e melação de soja e efluente de qualidade, quanto a toxicidade e teores de material orgânico.

6 CONCLUSÃO

Com a avaliação de uma nova configuração de reator UASB, denominado reator UASB-U, foi possível concluir que a sua construção, bem como a interligação de várias unidades do referido reator, podem ser efetuadas de forma simples e prática.

Além disso, foi verificado a partir dos ensaios hidrodinâmicos, na presença e ausência de biomassa, que a nova configuração tende ao fluxo pistonado, apresentando adiantamento na saída do traçado em relação ao TDH teórico aplicado.

Foi verificado que a inserção de uma câmara de alimentação, modificando a alimentação ascendente do UASB convencional para uma alimentação descendente, propiciou a formação de uma zona de equalização no interior do reator UASB-U. Tal característica proporcionou a utilização de TDHs reduzidos (24h) na partida e aclimação do inóculo nessa nova configuração para o tratamento de melaço de soja.

Foi possível concluir que a metodologia de eletrooxidação como estratégia para aumentar a biodegradabilidade da lignina é promissora e apropriada. Destacando-se por ter garantido um substrato que provocou menos impactos negativos na qualidade da manta de lodo em comparação com o substrato não assistido por EO, pela sua versatilidade, reduzidos tempos de pré-tratamento, condução experimental simplificada e com opção de utilização de fontes energéticas renováveis para o tratamento, baixa ou inexistente necessidade da utilização de reagentes e baixo custo (em termos de equipamentos).

De acordo com o monitoramento operacional do reator UASB-U, foi possível concluir que o reator, quando utilizado apenas uma unidade para o tratamento de melaço de soja, apresentou eficiências de remoção de matéria orgânica em torno de 85%, com períodos verificados acima de 90%. No entanto, para o tratamento de melaço de soja concluiu-se que a utilização de um agente alcalinizante é imprescindível para a manutenção do equilíbrio das fase de DA e boa eficiência de remoção.

Com a utilização dos reatores UASB-U em dois estágios, as eficiências de remoção mantiveram-se acima de 85% no R1 e 90% para o R2 para o tratamento de melaço de soja. Com o início da CoDA, com a adição de LEO, concluiu-se que o reator foi capaz de manter o bom desempenho a respeito da eficiência de remoção em termos de DQOt, garantindo eficiências acima de 80% (R1) e 90% (R2), mesmo com a presença de compostos fenólicos, considerados tóxicos para sistemas anaeróbios.

Foi verificado que o sistema em dois estágios foi eficaz na remoção de compostos fenólicos, com eficiências de cerca de 60% para o primeiro estágio (R1) e 80% para o segundo estágio (R2). No entanto, concluiu-se que apesar do bom desempenho nesse quesito, é necessária medidas adicionais para garantir efluentes com concentrações de compostos fenólicos adequadas para lançamento em corpos d'água ($<1,0 \text{ mgL}^{-1}$).

Além disso, com o incremento de LEO, o sistema deu indícios de acúmulo de FT no efluente final (R2), indicando que mesmo após longos períodos de alimentação com LEO, os microrganismos se demonstraram sensíveis ao incremento de compostos fenólicos. Além disso, os compostos fenólicos não degradados no sistema, não afetaram severamente o sistema ao longo da CoDA.

Conclui, portanto, que foi possível perceber que com aclimatação adequada da manta de lodo é possível tornar o meio de tratamento apropriado para geração de biogás, além da utilização de outros substratos, como o melaço de soja, para CoDA que pode favorecer sistemas de DA.

O reator UASB-U apresentou boa retenção de SST, garantindo efluentes com concentrações de até 100 mgSSTL^{-1} em sistema único e de até 16 mgSSTL^{-1} em dois estágios.

Foi verificado que o melaço de soja foi um substrato potencial para geração de biogás, com produção máxima de 5,0 L por dia, quando o sistema único continha média de DQOt de $1924 \pm 367 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$ e TDH de 24h. No entanto, foi verificado que com o início da CoDA, a presença de LEO no sistema influenciou a produção de biogás reduzindo a produção, mas com a adaptação da manta de lodo foi verificado que ocorreu gradualmente a melhora da produção de biogás, verificando a produção de cerca de 3,0 L por dia durante a fase 3 (de acordo com os dias passíveis de medição volumétrica).

Além disso, a partir das amostras analisadas em CG, foi constatado que mesmo na presença de LEO, o biogás gerado foi de boa qualidade, contendo cerca de 70% de CH_4 .

Por fim, conclui-se que a nova configuração tem grande potencial para o tratamento de resíduos agroindustriais complexos, com a possibilidade da geração de biogás de alta qualidade, bem como a garantia de efluentes com baixas concentrações de compostos orgânicos.

REFERÊNCIAS

- ABDELGADIR, A.; CHEN, X.; LIU, J.; XIE, X.; ZHANG, J.; ZHANG, K.; WANG, H.; LIU, N. Characteristics, Process Parameters, and Inner Components of Anaerobic Bioreactors. **BioMed Research International**, v. 2014, p. 1–10, 2014.
- ABMA, W. R.; DRIESSEN, W.; HAARHUIS, R.; VAN LOOSDRECHT, M. C. M. Upgrading of sewage treatment plant by sustainable and cost-effective separate treatment of industrial wastewater. **Water Science and Technology**, v. 61, n. 7, p. 1715–1722, 2010.
- ABNT-NBR 10209. **Elaboração de projetos hidráulicos-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro, 2011.
- ADORNO, M. A. T.; HIRASAWA, J. S.; VARESCHE, M. B. A. Development and Validation of Two Methods to Quantify Volatile Acids (C2-C6) by GC/FID: Headspace (Automatic and Manual) and Liquid-Liquid Extraction (LLE). **American Journal of Analytical Chemistry**, v. 05, n. 07, p. 406–414, 2014.
- AIYUK, S.; VERSTRAETE, W. Sedimentological evolution in an UASB treating SYNTHES, a new representative synthetic sewage, at low loading rates. **Bioresource Technology**, v. 93, n. 3, p. 269–278, 2004.
- AKASSOU, M.; KAAANANE, A.; CROLLA, A.; KINSLEY, C. Statistical modelling of the impact of some polyphenols on the efficiency of anaerobic digestion and the co-digestion of the wine distillery wastewater with dairy cattle manure and cheese whey. **Water Science and Technology**, v. 62, n. 3, p. 475–483, 2010.
- ALBURQUERQUE, J. A.; DE LA FUENTE, C.; CAMPOY, M.; CARRASCO, L.; NÁJERA, I.; BAIXAULI, C.; CARAVACA, F.; ROLDÁN, A.; CEGARRA, J.; BERNAL, M. P. Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties. **European Journal of Agronomy**, v. 43, p. 119–128, 2012.
- ÁLVAREZ, J. A.; RUIZ, I.; GÓMEZ, M.; PRESAS, J.; SOTO, M. Start-up alternatives and performance of an UASB pilot plant treating diluted municipal wastewater at low temperature. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 14, p. 1640–1649, 2006.
- AMON, T.; AMON, B.; KRYVORUCHKO, V.; ZOLLITSCH, W.; MAYER, K.; GRUBER, L. Biogas production from maize and dairy cattle manure-Influence of biomass composition on the methane yield. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 118, n. 1–4, p. 173–182, 2007.
- APHA. **Standard methods for the examination of water and waste water**. Illustrateded. Washington: APHA-AWWA-WEF, 2005. 2005.v. 21.
- AQUINO, S.; CHERNICHARO, C. A. L.; FORESTI, E.; FLORENCIO DOS SANTOS, M. de L.; MONTEGGIA, L. O. Metodologias para determinação da Atividade Metanogênica específica (AME) em Lodos Anaeróbios. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 192–201, 2007.
- ASTALS, S.; BATSTONE, D. J.; MATA-ALVAREZ, J.; JENSEN, P. D. Identification of synergistic impacts during anaerobic co-digestion of organic wastes. **Bioresource Technology**, v. 169, p. 421–427, 2014.
- ASTALS, S.; NOLLA-ARDÈVOL, V.; MATA-ALVAREZ, J. Thermophilic co-digestion of pig manure and crude glycerol: Process performance and digestate stability. **Journal of Biotechnology**, v. 166, n. 3, p. 97–104, 2013.
- AZBAR, N.; DOKGÖZ, F. T.; KESKIN, T.; ELTEM, R.; KORKMAZ, K. S.; GEZGIN, Y.; AKBAL, Z.; ÖNCEL, S.; DALAY, M. C.; GÖNEN, Ç.; TUTUK, F. Comparative Evaluation of Bio-Hydrogen Production From Cheese Whey Wastewater Under Thermophilic and Mesophilic Anaerobic Conditions. **International Journal of Green Energy**, v. 6, n. 2, p. 192–200, 2009.
- BABAEE, M.; DATCU, M.; RIGOLL, G. Assessment of dimensionality reduction based on communication channel model; Application to immersive information visualization. **Proceedings - 2013 IEEE International Conference on Big Data, Big Data 2013**, p. 1–6, 2013.
- BADSHAH, M. **Evaluation of process parameters and treatments of different raw materials for biogas production**. 2012. 1–158 f. Thesis - Linköping University, 2012. Disponível em: <http://lup.lub.lu.se/record/3130472>. Acesso em: 27 dez. 2023.

- BAJAJ, M.; GALLERT, C.; WINTER, J. Biodegradation of high phenol containing synthetic wastewater by an aerobic fixed bed reactor. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 17, p. 8376–8381, 2008.
- BAJWA, D. S.; POURHASHEM, G.; ULLAH, A. H.; BAJWA, S. G. A concise review of current lignin production, applications, products and their environmental impact. **Industrial Crops and Products**, v. 139, p. 111526, 2019.
- BALASUNDARAM, G.; BANU, R.; VARJANI, S.; KAZMI, A. A.; TYAGI, V. K. Recalcitrant compounds formation, their toxicity, and mitigation: Key issues in biomass pretreatment and anaerobic digestion. **Chemosphere**, v. 291, p. 132930, 2022.
- BARBER, W. P.; STUCKEY, D. C. The Influence of Start-Up Strategies on the Performance of an Anaerobic Baffled Reactor. **Environmental Technology**, v. 19, n. 5, p. 489–501, 1998.
- BARBOSA, R. de A.; SOUSA, J. T. de; LOPES, W. S.; LEITE, V. D.; CABRAL, L. L. B. Remoção de sulfetos em reatores UASB microaerados tratando esgoto sanitário. **Revista DAE**, v. 67, n. 216, p. 5–19, 2019.
- BARROS, R. M. Energia de Biogás da Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Orgânicos e de Aterros Sanitários. **Revista O Futuro da Energia**, v. 1, n. 1, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/315445774>.
- BARROS, V. G. de; DUDA, R. M.; VANTINI, J. da S.; OMORI, W. P.; FERRO, M. I. T.; OLIVEIRA, R. A. de. Improved methane production from sugarcane vinasse with filter cake in thermophilic UASB reactors, with predominance of Methanothermobacter and Methanosarcina archaea and Thermotogae bacteria. **Bioresource Technology**, v. 244, p. 371–381, 2017.
- BATSTONE, D. J.; HERNANDEZ, J. L. A.; SCHMIDT, J. E. Hydraulics of laboratory and full-scale upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 91, n. 3, p. 387–391, 2005.
- BECKHAM, G. T.; JOHNSON, C. W.; KARP, E. M.; SALVACHÚA, D.; VARDON, D. R. Opportunities and challenges in biological lignin valorization. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 42, p. 40–53, 2016.
- BELIAEVA, K.; GRIMALDOS-OSORIO, N.; RUIZ-LÓPEZ, E.; BUREL, L.; VERNOUX, P.; CARAVACA, A. New insights into lignin electrolysis on nickel-based electrocatalysts: Electrochemical performances before and after oxygen evolution. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 46, n. 72, p. 35752–35764, 2021.
- BES, K.; LEMÕES, J. S.; E SILVA, C. F. L.; E SILVA, S. D. D. A. Extraction and characterization of lignin from the pre-treatment of biomass for 2 nd generation ethanol production. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 55–60, 2019.
- BIJARCHIYAN, M.; SAHEBI, H.; MIRZAMOHAMMADI, S. A sustainable biomass network design model for bioenergy production by anaerobic digestion technology: Using agricultural residues and livestock manure. **Energy, Sustainability and Society**, v. 10, n. 1, 2020.
- BODÍK, I.; HERDOVÁ, B.; DRTIL, M. Anaerobic treatment of the municipal wastewater under psychrophilic conditions. **Bioprocess Engineering**, v. 22, n. 5, p. 385–390, 2000.
- BOERJAN, W.; RALPH, J.; BAUCHER, M. **Lignin Biosynthesis**. 2003.
- BOLLE, W. L.; VAN BREUGEL, J.; VAN EYBERGEN, G. C.; KOSSEN, N. W. F.; VAN GILS, W. An integral dynamic model for the UASB reactor. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 28, n. 11, p. 1621–1636, 1986.
- BOLZONELLA, D.; BATTISTONI, P.; SUSINI, C.; CECCHI, F. Anaerobic codigestion of waste activated sludge and OFMSW: the experiences of Viareggio and Treviso plants (Italy). **Water Science and Technology**, v. 53, n. 8, p. 203–211, 2006.
- BORJA, R.; ALBA, J.; BANKS, C. J. Impact of the main phenolic compounds of olive mill wastewater (OMW) on the kinetics of acetoclastic methanogenesis. **Process Biochemistry**, v. 32, n. 2, p. 121–133, 1997.
- BOSQUE, I.; MAGALLANES, G.; RIGOLET, M.; D. KÄRKÄS, M.; R. J. STEPHENSON, C. Redox Catalysis Facilitates Lignin Depolymerization. **ACS Central Science**, v. 3, n. 6, p. 621–628, 2017.
- BREINER, M.; ZIRBES, M.; WALDVOGEL, S. R. Comprehensive valorisation of technically relevant organosolv lignins via anodic oxidation. **Green Chemistry**, v. 23, n. 17, p. 6449–6455, 2021. Disponível em:

<http://xlink.rsc.org/?DOI=D1GC01995C>.

BRUNO, M.; DE OLIVEIRA, R. A. **TRATAMENTO ANAERÓBIO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DO BENEFICIAMENTO DE CAFÉ POR VIA ÚMIDA EM REATORES UASB EM DOIS ESTÁGIOS**. 2008.

BRUNO, M.; OLIVEIRA, R. A. de. Performance of UASB reactors in two stages followed by post-treatment with activated sludge in wastewater batch of wet-processed coffee. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 4, p. 808–819, 2013.

BUSTAMANTE, M. A.; ALBURQUERQUE, J. A.; RESTREPO, A. P.; DE LA FUENTE, C.; PAREDES, C.; MORAL, R.; BERNAL, M. P. Co-composting of the solid fraction of anaerobic digestates, to obtain added-value materials for use in agriculture. **Biomass and Bioenergy**, v. 43, p. 26–35, 2012.

CAI, P.; FAN, H.; CAO, S.; QI, J.; ZHANG, S.; LI, G. Electrochemical conversion of corn stover lignin to biomass-based chemicals between Cu/NiMoCo cathode and Pb/PbO₂ anode in alkali solution. **Electrochimica Acta**, v. 264, p. 128–139, 2018.

CALVO-FLORES, F. G.; DOBADO, J. A. **Lignin as renewable raw material**. Wiley-VCH Verlag, 2010.

CAMARGO, F. P.; LOURENÇO, V.; RODRIGUES, C. V.; SABATINI, C. A.; ADORNO, M. A. T.; SILVA, E. L.; VARESCHE, M. B. A. Bio-CH₄ yield of swine manure and food waste optimized by co-substrate proportions diluted in domestic sewage and pH interactions using the response surface approach. **Journal of Environmental Management**, v. 348, p. 119308, 2023.

CAMPOS, C. M. M.; DAMASCENO, L. H. S.; MOCHIZUKI, E. T.; BOTELHO, C. G. Avaliação do desempenho do reator anaeróbio de manta de lodo (uasb) em escala laboratorial na remoção da carga orgânica de águas residuárias da suinocultura. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 2, p. 390–399, 2005. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttextepid=\\$1413-70542005000200017eIngl=ptetIngl=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttextepid=$1413-70542005000200017eIngl=ptetIngl=pt).

CAMPOS, C. M. M.; LUIZ, F. A. R. de; BOTELHO, C. G.; DAMASCENO, L. H. S. Avaliação da eficiência do reator UASB tratando efluente de laticínio sob diferentes cargas orgânicas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 6, p. 1376–1384, 2010.

CARAÇA, M. de S.; OLIVEIRA, R. A. de; DUDA, R. M. Bioenergy Recovery from Anaerobic Co-Digestion of Sugarcane Vinasse and Dairy Cattle Wastewater in Two Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket Reactors in Series. **BioEnergy Research**, 2023.

CARVALHO, K. Q. de; SALGADO, M. T.; PASSIG, F. H.; PIRES, E. C. Avaliação hidrodinâmica de reator UASB submetido à variação cíclica de vazão. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 226–235, 2008.

CASSERLY, C.; ERIJMAN, L. Molecular monitoring of microbial diversity in an UASB reactor. **International Biodeterioration e Biodegradation**, v. 52, n. 1, p. 7–12, 2003.

CAVALCANTI, P. F. F. **INTEGRATED APPLICATION OF THE UASB REACTOR AND PONDS FOR DOMESTIC SEWAGE TREATMENT IN TROPICAL REGIONS**. 2003. Thesis - Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 2003.

CAVALCANTI, P. F. F.; MEDEIROS, E. S.; SILVA, J. K. M.; VAN HAANDEL, A. Excess sludge discharge frequency for uasb reactors. **Water Science and Technology**, v. 40, n. 8, 1999.

CHANG, X.; VAN DER ZALM, J.; THIND, S. S.; CHEN, A. Electrochemical oxidation of lignin at electrochemically reduced TiO₂ nanotubes. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 863, p. 114049, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1572665720302320>.

CHAPLEUR, O.; CIVADE, R.; HOYOS-HERNANDEZ, C.; MAZÉAS, L.; BOUCHEZ, T. **Growing concentrations of phenol increasingly modify microbial communities' dynamics and performances' stability of anaerobic digesters**. 2015. Disponível em: <https://hal.science/hal-01118701>.

CHEN, Z.; WAN, C. Biological valorization strategies for converting lignin into fuels and chemicals. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 73, p. 610–621, 2017.

CHENG, C.; ZHOU, Y.; LIN, M.; WEI, P.; YANG, S. T. Polymalic acid fermentation by *Aureobasidium pullulans* for malic acid production from soybean hull and soy molasses: Fermentation kinetics and economic analysis. **Bioresource Technology**, v. 223, p. 166–174, 2017.

CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. **Belo Horizonte: Politécnica**, Belo Horizonte 2007.

CHERNICHARO, C. A.; RIBEIRO, T. B.; PEGORINI, E. S.; POSSETTI, G. R. C.; MIKI, M. K.; SOUZA, S. N. Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário - Parte 1: Tópicos de Interesse. **Revista DAE**, v. 66, n. 214, p. 5–16, 2018.

CHONG, S.; SEN, T. K.; KAYAALP, A.; ANG, H. M. The performance enhancements of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors for domestic sludge treatment – A State-of-the-art review. **Water Research**, v. 46, n. 11, p. 3434–3470, 2012.

CHOU, H.-H.; HUANG, J.-S. Role of Mass Transfer Resistance in Overall Substrate Removal Rate in Upflow Anaerobic Sludge Bed Reactors. **Journal of Environmental Engineering**, v. 131, n. 4, p. 548–556, 2005.

CHOW, W. L.; CHONG, S.; LIM, J. W.; CHAN, Y. J.; CHONG, M. F.; TIONG, T. J.; CHIN, J. K.; PAN, G.-T. Anaerobic Co-Digestion of Wastewater Sludge: A Review of Potential Co-Substrates and Operating Factors for Improved Methane Yield. **Processes**, v. 8, n. 1, p. 39, 2020.

CJ SELECTA. **Typical Profile Soybean Molasses**. 2023. Disponível em: <https://cjselecta.com.br/unidades-de-negocios/produtos-cj/melaco-de-soja/>. Acesso em: 27 nov. 2023.

COELHO, A. L. S. S.; DO NASCIMENTO, M. B. H.; CAVALCANTI, P. F. F.; VAN HAANDEL, A. C. **The UASB reactor as an alternative for the septic tank for on-site sewage treatment**. 2003. Disponível em: <http://iwaponline.com/wst/article-pdf/48/11-12/221/421904/221.pdf>.

CONAB. **ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA - Cana-de-açúcar - Segundo Levantamento Safra 2023/24**. 2023.

CONDE, J. J.; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, S.; CHEN, X.; LU-CHAU, T. A.; EIBES, G.; PIZZI, A.; MOREIRA, M. T. Electrochemical oxidation of lignin for the simultaneous production of bioadhesive precursors and value-added chemicals. **Biomass and Bioenergy**, v. 169, p. 106693, 2023.

CRUZ, D. B.; ARANTES, E. J.; CARVALHO, K. Q. de; PASSIG, F. H.; KREUTZ, C.; GONÇALVES, M. S. Avaliação do comportamento hidrodinâmico de reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente com diferentes configurações do sistema de distribuição do afluente utilizando fluidodinâmica computacional. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 721–730, 2016.

DA ROS, C.; CAVINATO, C.; PAVAN, P.; BOLZONELLA, D. Mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion of winery wastewater sludge and wine lees: An integrated approach for sustainable wine production. **Journal of Environmental Management**, v. 203, p. 745–752, 2017.

DAUD, M. K.; RIZVI, H.; AKRAM, M. F.; ALI, S.; RIZWAN, M.; NAFEEES, M.; JIN, Z. S. **Review of upflow anaerobic sludge blanket reactor technology: Effect of different parameters and developments for domestic wastewater treatment**. [S. l.]: Hindawi Limited, 2018.

DE MELLO, B. S.; CLARA GOMES RODRIGUES, B.; DUSSÁN MEDINA, K. J.; SARTI, A. Biological Degradation of Soybean Molasses by Modified Anaerobic–Aerobic Baffled Reactor. **BioEnergy Research**, v. 16, n. 1, p. 673–682, 2023.

DE MELLO, B. S.; RODRIGUES, B. C. G.; SARTI, A. Comparative performance of high-rate anaerobic reactors for biodegradation of soybean molasses. **Environmental Technology e Innovation**, v. 24, p. 101937, 2021.

DEL NERY, V.; ALVES, I.; ZAMARIOLLI DAMIANOVIC, M. H. R.; PIRES, E. C. Hydraulic and organic rates applied to pilot scale UASB reactor for sugar cane vinasse degradation and biogas generation. **Biomass and Bioenergy**, v. 119, p. 411–417, 2018.

DELGENES, J. P.; MOLETTA, R.; NAVARRO, J. M. Effects of lignocellulose degradation products on ethanol fermentations of glucose and xylose by *Saccharomyces cerevisiae*, *Zymomonas mobilis*, *Pichia stipitis*, and *Candida shehatae*. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 19, n. 3, p. 220–225, 1996.

DEMUNER, I. F.; COLODETTE, J. L.; DEMUNER, A. J.; JARDIM, C. M. **Biorefinery Review: Wide-Reaching Products Through Kraft Lignin**. 2019.

- DENG, C.; KANG, X.; LIN, R.; WU, B.; NING, X.; WALL, D.; MURPHY, J. D. Boosting biogas production from recalcitrant lignin-based feedstock by adding lignin-derived carbonaceous materials within the anaerobic digestion process. **Energy**, v. 278, p. 127819, 2023.
- DI FIDIO, N.; TIMMERMANS, J. W.; ANTONETTI, C.; RASPOLLI GALLETTI, A. M.; GOSELINK, R. J. A.; BISSELINK, R. J. M.; SLAGHEK, T. M. Electro-oxidative depolymerisation of technical lignin in water using platinum, nickel oxide hydroxide and graphite electrodes. **New Journal of Chemistry**, v. 45, n. 21, p. 9647–9657, 2021.
- DILALLO, R.; ALBERTSON, O. E. **Volatile Acids by Direct Titration** *Journal (Water Pollution Control Federation)*. 1961.
- DI MARINO, D.; JESTEL, T.; MARKS, C.; VIELL, J.; BLINDERT, M.; KRIESCHER, S. M. A.; SPIESS, A. C.; WESSLING, M. Carboxylic Acids Production via Electrochemical Depolymerization of Lignin. **ChemElectroChem**, v. 6, n. 5, p. 1434–1442, 2019.
- DOS SANTOS, M. G.; FOGARIN, H. M.; VIRGINIO DA SILVA, D. D.; DUSSÁN, K. J. Bioprocess development for levulinic acid production using sugarcane biomass. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 33, p. 101085, 2023.
- DU, X.; ZHANG, H.; SULLIVAN, K. P.; GOGOI, P.; DENG, Y. Electrochemical Lignin Conversion. **ChemSusChem**, v. 13, n. 17, p. 4318–4343, 2020.
- EBNER, J. H.; LABATUT, R. A.; LODGE, J. S.; WILLIAMSON, A. A.; TRABOLD, T. A. Anaerobic co-digestion of commercial food waste and dairy manure: Characterizing biochemical parameters and synergistic effects. **Waste Management**, v. 52, p. 286–294, 2016.
- ELMITWALLI, T. A.; OAHN, K. L. T.; ZEEMAN, G.; LETTINGA, G. Treatment of domestic sewage in a two-step anaerobic filter/anaerobic hybrid system at low temperature. **Water Research**, v. 36, n. 9, p. 2225–2232, 2002.
- ELSAIED, M.; RAN, Y.; AI, P.; AZAB, M.; MANSOUR, A.; JIN, K.; ZHANG, Y.; ABOMOHRRA, A. E. F. Innovative integrated approach of biofuel production from agricultural wastes by anaerobic digestion and black soldier fly larvae. **Journal of Cleaner Production**, v. 263, p. 121495, 2020.
- EMBRAPA. **Composição da soja - Portal Embrapa**. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/alimentacao/composicaodasoja>. Acesso em: 24 out. 2023.
- EPA. **Balanco Energético Nacional 2023**. 2023a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>. Acesso em: 24 nov. 2023.
- EPA. **Greenhouse Gas Emissions, Overview of Greenhouse Gases**. 2023b. Disponível em: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>. Acesso em: 24 nov. 2023.
- ESPAÑA-GAMBOA, E. I.; MIJANGOS-CORTÉS, J. O.; HERNÁNDEZ-ZÁRATE, G.; MALDONADO, J. A. D.; ALZATE-GAVIRIA, L. M. Methane production by treating vinasses from hydrous ethanol using a modified UASB reactor. **Biotechnology for Biofuels**, v. 5, n. 1, p. 82, 2012.
- ESPOSITO, G.; FRUNZO, L.; GIORDANO, A.; LIOTTA, F.; PANICO, A.; PIROZZI, F. **Anaerobic co-digestion of organic wastes**. 2012.
- EZHUMALAI, S.; THANGAVELU, V. **KINETIC AND OPTIMIZATION STUDIES ON THE BIOCONVERSION OF LIGNOCELLULOSIC MATERIAL INTO ETHANOL** *BioResources*. 2010.
- FANG, H. H. Microbial distribution in UASB granules and its resulting effects. **Water Science and Technology**, v. 42, n. 12, p. 201–208, 2000.
- FANG, H. H. P.; LIANG, D. W.; ZHANG, T.; LIU, Y. Anaerobic treatment of phenol in wastewater under thermophilic condition. **Water Research**, v. 40, n. 3, p. 427–434, 2006.
- FARAJZADEHHA, Soheil; MIRBAGHERI, S. A.; FARAJZADEHHA, Soroush; SHAYEGAN, J. Lab Scale Study of HRT and OLR Optimization in UASB Reactor for Pretreating Fortified Wastewater in Various Operational Temperatures. **APCBEE Procedia**, v. 1, p. 90–95, 2012.
- FIELD, J. A. Limits of anaerobic biodegradation. **Water Science and Technology**, v. 45, n. 10, p. 9–18, 2002.

- FIELD, J. A.; KORTEKAAS, S.; LETTINGA, G. The tannin theory of methanogenic toxicity. **Biological Wastes**, v. 29, n. 4, p. 241–262, 1989. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0269748389900165>.
- FITAMO, T.; BOLDRIN, A.; BOE, K.; ANGELIDAKI, I.; SCHEUTZ, C. Co-digestion of food and garden waste with mixed sludge from wastewater treatment in continuously stirred tank reactors. **Bioresource Technology**, v. 206, p. 245–254, 2016.
- FOLIN, O.; CIOCALTEU, V. ON TYROSINE AND TRYPTOPHANE DETERMINATIONS IN PROTEINS. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 73, n. 2, 1927. Disponível em: www.jbc.org.
- FORESTI, E. Anaerobic treatment of domestic sewage: established technologies and perspectives. **Water Science and Technology**, v. 45, n. 10, p. 181–186, 2002.
- FORESTI, E.; ZAIAT, M.; VALLERO, M. Anaerobic Processes as the Core Technology for Sustainable Domestic Wastewater Treatment: Consolidated Applications, New Trends, Perspectives, and Challenges. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 5, n. 1, p. 3–19, 2006. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11157-005-4630-9>. Acesso em: 16 nov. 2023.
- FUESS, L. T. Biodigestão anaeróbia termofílica de vinhaça em sistemas combinados do tipo acidogênico-metanogênico para potencialização da recuperação de bioenergia em biorrefinarias de cana-de-açúcar de primeira geração. p. 344, 2017.
- GAO, D.; OUYANG, D.; ZHAO, X. Electro-oxidative depolymerization of lignin for production of value-added chemicals. **Green Chemistry**, v. 24, n. 22, p. 8585–8605, 2022. Disponível em: <http://xlink.rsc.org/?DOI=D2GC02660K>.
- GAREDEW, M.; LAM, C. H.; PETITJEAN, L.; HUANG, S.; SONG, B.; LIN, F.; JACKSON, J. E.; SAFFRON, C. M.; ANASTAS, P. T. Electrochemical upgrading of depolymerized lignin: a review of model compound studies. **Green Chemistry**, v. 23, n. 8, p. 2868–2899, 2021.
- GAREDEW, M.; LIN, F.; SONG, B.; DEWINTER, T. M.; JACKSON, J. E.; SAFFRON, C. M.; LAM, C. H.; ANASTAS, P. T. Greener Routes to Biomass Waste Valorization: Lignin Transformation Through Electrocatalysis for Renewable Chemicals and Fuels Production. **ChemSusChem**, v. 13, n. 17, p. 4214–4237, 2020.
- GIULIANO, A.; BOLZONELLA, D.; PAVAN, P.; CAVINATO, C.; CECCHI, F. Co-digestion of livestock effluents, energy crops and agro-waste: Feeding and process optimization in mesophilic and thermophilic conditions. **Bioresource Technology**, v. 128, p. 612–618, 2013.
- GUEDES, A. R. Determinação e Análise de Propriedades Termofísicas do Melaço de Soja. **Posalim.Ufpr.Br**, 2015. Disponível em: http://www.posalim.ufpr.br/Pesquisa/pdf/Disserta_AMANDA_GUEDES.pdf.
- GÜR, E.; DEMIRER, G. N. Anaerobic Digestability and Biogas Production Capacity of Pistachio Processing Wastewater in UASB Reactors. **Journal of Environmental Engineering**, v. 145, n. 8, 2019.
- HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. Anaerobic Sewage Treatment: A Practical Guide for Regions with A Hot Climate. *Em: ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY*. 3. ed. Chichester, England: John Wiley and Sons, 1994. p. 1–226.
- HAANDEL, A. van; SANTOS, S. L. dos; CHAVES, S. R. M.; COSTA, J. W. N. da. Influência do projeto do separador de fases no desempenho do reator uasb no tratamento de águas residuais municipais. **Revista DAE**, v. 63, n. 200, p. 64–75, 2015.
- HAGOS, K.; ZONG, J.; LI, D.; LIU, C.; LU, X. Anaerobic co-digestion process for biogas production: Progress, challenges and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 76, p. 1485–1496, 2017.
- HAO, X.; QUANSHENG, Y.; DAN, S.; HONGHUI, Y.; JIDONG, L.; JIANGTAO, F.; WEI, Y. Fabrication and characterization of PbO₂ electrode modified with [Fe(CN)₆]³⁻ and its application on electrochemical degradation of alkali lignin. **Journal of Hazardous Materials**, v. 286, p. 509–516, 2015. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304389414010498>. Acesso em: 20 out. 2023.
- HARPER, S. R.; POHLAND, F. G. Recent developments in hydrogen management during anaerobic biological wastewater treatment. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 28, n. 4, p. 585–602, 1986.

- HEERTJES, P. M.; VAN DER MEER, R. R. Dynamics of liquid flow in an up-flow reactor-used for anaerobic treatment of wastewater. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 20, n. 10, p. 1577–1594, 1978.
- HIBINO, T.; KOBAYASHI, K.; ZHOU, D.; CHEN, S.; ZINCHENKO, A.; TERANISHI, S.; MIYAWAKI, A.; SAWADA, Y. Electrochemical extraction of methanol from lignin under mild conditions. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 341, 2024.
- IBRAHEEM, O.; NDIMBA, B. K. Molecular Adaptation Mechanisms Employed by Ethanogenic Bacteria in Response to Lignocellulose-derived Inhibitory Compounds. **International Journal of Biological Sciences**, v. 9, n. 6, p. 598–612, 2013.
- ILIUTA, I.; THYRION, F. C.; MUNTEAN, O. Axial Dispersion of Liquid in Gas-Liquid Cocurrent Downflow and Upflow Fixed-Bed Reactors with Porous Particles. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 76, n. 1, p. 64–72, 1998.
- KALOGO, Y.; VERSTRAETE, W. Development of anaerobic sludge bed (ASB) reactor technologies for domestic wastewater treatment: motives and perspectives. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 15, n. 5, p. 523–534, 1999.
- KALYUZHNYI, S. V.; SKLYAR, V. I.; DAVLYATSHINA, M. A.; PARSHINA, S. N.; SIMANKOVA, M. V.; KOSTRIKINA, N. A.; NOZHEVNIKOVA, A. N. Organic removal and microbiological features of UASB-reactor under various organic loading rates. **Bioresource Technology**, v. 55, n. 1, p. 47–54, 1996.
- KARKI, R.; CHUENHART, W.; SURENDRA, K. C.; SHRESTHA, S.; RASKIN, L.; SUNG, S.; HASHIMOTO, A.; KUMAR KHANAL, S. Anaerobic co-digestion: Current status and perspectives. **Bioresource Technology**, v. 330, p. 125001, 2021.
- KHALID, A.; ARSHAD, M.; ANJUM, M.; MAHMOOD, T.; DAWSON, L. The anaerobic digestion of solid organic waste. **Waste Management**, v. 31, n. 8, p. 1737–1744, 2011.
- KIM, D. Physico-Chemical Conversion of Lignocellulose: Inhibitor Effects and Detoxification Strategies: A Mini Review. **Molecules**, v. 23, n. 2, p. 309, 2018.
- KIM, K. H.; DUTTA, T.; SUN, J.; SIMMONS, B.; SINGH, S. Biomass pretreatment using deep eutectic solvents from lignin derived phenols. **Green Chemistry**, v. 20, n. 4, p. 809–815, 2018.
- KISHIOKA, S. Y.; YAMADA, A. Kinetic study of the catalytic oxidation of benzyl alcohols by phthalimide-N-oxyl radical electrogenerated in acetonitrile using rotating disk electrode voltammetry. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 578, n. 1, p. 71–77, 2005.
- KITAMURA, S. H. P.; SILVA, L. M. da; BATISTA, F. K.; MELLO, B. S. de; RODRIGUES, B. C. G.; SARTI, A. Codigestão anaeróbia de resíduos agroindustriais (melaço de soja e glicerol) em reator anaeróbio horizontal de leito fixo / Anaerobic co-digestion of agro-industrial wastes (soybean molasses and glicerol) in a horizontal-flow anaerobic immobilized biomass reactor. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 1, p. 6144–6163, 2022.
- KLINGER, G. E.; ZHOU, Y.; FOOTE, J. A.; WESTER, A. M.; CUI, Y.; ALHERECH, M.; STAHL, S. S.; JACKSON, J. E.; HEGG, E. L. Nucleophilic Thiols Reductively Cleave Ether Linkages in Lignin Model Polymers and Lignin. **ChemSusChem**, v. 13, n. 17, p. 4394–4399, 2020.
- KONGJAN, P.; O-THONG, S.; ANGELIDAKI, I. Hydrogen and methane production from desugared molasses using a two-stage thermophilic anaerobic process. **Engineering in Life Sciences**, v. 13, n. 2, p. 118–125, 2013.
- KORÁNYI, T. I.; FRIDRICH, B.; PINEDA, A.; BARTA, K. **Development of 'Lignin-First' Approaches for the Valorization of Lignocellulosic Biomass**. MDPI AG, 2020.
- KREUTZ, C. **COMPORTAMENTO DE REATOR ANAERÓBIO-AERÓBIO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE BOVINO**. 2012. Tese - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel 2012.
- KUMAR, P. Climate Change and Cities: Challenges Ahead. **Frontiers in Sustainable Cities**, v. 3, 2021.
- LEITÃO, R. C.; FREITAS, A. V.; JUSTINO DE SOUZA, F.; DANTAS, M. C.; IRAIDY, A.; BRÍGIDA, S.; CASSALES, A. R.; ADOLFO, G.; PINTO, S.; SANTAELLA, S. T. **Produção de Biogás a Partir do Líquido do Pseudocaule da Bananeira**. 2012.

- LEITÃO, R. C.; SANTAELLA, S. T.; VAN HAANDEL, A. C.; ZEEMAN, G.; LETTINGA, G. The effect of operational conditions on the hydrodynamic characteristics of the sludge bed in UASB reactors. **Water Science and Technology**, v. 64, n. 9, p. 1935–1941, 2011.
- LETTI, L. A. J.; KARP, S. G.; WOICIECHOWSKI, A. L.; SOCCOL, C. R. Ethanol production from soybean molasses by *Zymomonas mobilis*. **Biomass and Bioenergy**, v. 44, p. 80–86, 2012.
- LETTINGA, O.; HULSHOFF POL, L. W. **UASB-PROCESS DESIGN FOR VARIOUS TYPES OF WASTEWATERS**Waf. Sci. Tech. 1991. Disponível em: <https://iwaponline.com/wst/article-pdf/24/8/87/102209/87.pdf>.
- LETTINGA, G.; REBAC, S.; ZEEMAN, G. Challenge of psychrophilic anaerobic wastewater treatment. **Trends in Biotechnology**, v. 19, n. 9, p. 363–370, 2001.
- LETTINGA, G.; VAN VELSEN, A. F. M.; HOBMA, S. W.; DE ZEEUW, W.; KLAPWIJK, A. Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 22, n. 4, p. 699–734, 1980.
- LEVÉN, L.; NYBERG, K.; SCHNÜRER, A. Conversion of phenols during anaerobic digestion of organic solid waste – A review of important microorganisms and impact of temperature. **Journal of Environmental Management**, v. 95, p. S99–S103, 2012.
- LEVENSPIEL, O. **Engenharia das reações químicas**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2000. 2000. Disponível em: https://books.google.com.br/books/about/Engenharia_das_rea%C3%A7%C3%B5es_qu%C3%ADmicas.html?id=llu4DwAAQBAJeredir_esc=y. Acesso em: 14 dez. 2023.
- LEW, B.; LUSTIG, I.; BELIAVSKI, M.; TARRE, S.; GREEN, M. An integrated UASB-sludge digester system for raw domestic wastewater treatment in temperate climates. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 7, p. 4921–4924, 2011.
- LI, C.; ZHAO, X.; WANG, A.; HUBER, G. W.; ZHANG, T. **Catalytic Transformation of Lignin for the Production of Chemicals and Fuels**. American Chemical Society, 2015.
- LIU, T.; SCHNÜRER, A.; BJÖRKMALM, J.; WILLQUIST, K.; KREUGER, E. Diversity and Abundance of Microbial Communities in UASB Reactors during Methane Production from Hydrolyzed Wheat Straw and Lucerne. **Microorganisms**, v. 8, n. 9, p. 1394, 2020.
- LIU, M.; WEN, Y.; QI, J.; ZHANG, S.; LI, G. Fine Chemicals Prepared by Bamboo Lignin Degradation through Electrocatalytic Redox between Cu Cathode and Pb/PbO₂ Anode in Alkali Solution. **ChemistrySelect**, v. 2, n. 17, p. 4956–4962, 2017.
- LIU, Y.; XU, H.-L.; YANG, S.-F.; TAY, J.-H. Mechanisms and models for anaerobic granulation in upflow anaerobic sludge blanket reactor. **Water Research**, v. 37, n. 3, p. 661–673, 2003.
- LIU, Y.; ZHANG, Y.; NI, B. J. Zero valent iron simultaneously enhances methane production and sulfate reduction in anaerobic granular sludge reactors. **Water Research**, v. 75, p. 292–300, 2015.
- LOMAN, A.; JU, L. K. Enzyme-based processing of soybean carbohydrate: Recent developments and future prospects. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 106, p. 35–47, 2017.
- LOMAN, A. A.; JU, L. K. Soybean carbohydrate as fermentation feedstock for production of biofuels and value-added chemicals. **Process Biochemistry**, v. 51, n. 8, p. 1046–1057, 2016.
- LONGO, R. R. **Geração de metano em reator UASB: Avaliação de parâmetros de monitoramento para controle do processo de tratamento anaeróbio de vinhaça**. 2015. Dissertação - Universidade De São Paulo Escola De Engenharia De São Carlos Pós-Graduação Em Engenharia Hidráulica E Saneamento, São Carlos/SP 2015.
- LÓPEZ-FIUZA, J.; OMIL, F.; MÉNDEZ, R. Anaerobic treatment of natural tannin extracts in UASB reactors. **Water Science and Technology**, v. 48, n. 6, p. 157–163, 2003.
- MA, X.; CHEN, J.; ZHU, J.; YAN, N. Lignin-Based Polyurethane: Recent Advances and Future Perspectives. **Macromolecular Rapid Communications**, v. 42, n. 3, 2021.

- MACHADO, R. P. Produção de etanol a partir de melão de soja. p. 151, 1999.
- MAHMOUD, N. J. A.-H. **Anaerobic Pre-treatment of Sewage Under Low Temperature (15 °C) Conditions in an Integrated UASB-Digester System**. 2002. 1–128 f. Thesis - Wageningen University, Wageningen, The Netherlands 2002.
- MANTOVANI, D. Estudo da recuperação e hidrólise de isoflavonas e carboidratos obtidos a partir do melão de soja. 2013. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/34198>. Acesso em: 24 out. 2023.
- MAO, Y.; GERROW, A.; RAY, E.; PEREZ, N. D.; EDLER, K.; WOLF, B.; BINNER, E. Lignin recovery from cocoa bean shell using microwave-assisted extraction and deep eutectic solvents. **Bioresource Technology**, v. 372, p. 128680, 2023.
- MAPA. Projeções de Longo Prazo. p. 1–114, 2018.
- MATA-ALVAREZ, J.; DOSTA, J.; ROMERO-GÜIZA, M. S.; FONOLL, X.; PECES, M.; ASTALS, S. A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 36, p. 412–427, 2014.
- MÉNDEZ-ROMERO, D. C.; LÓPEZ-LÓPEZ, A.; VALLEJO-RODRÍGUEZ, R.; LEÓN-BECERRIL, E. Hydrodynamic and kinetic assessment of an anaerobic fixed-bed reactor for slaughterhouse wastewater treatment. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 50, n. 3, p. 273–280, 2011.
- METCALF; EDDY. **Wastewater engineering treatment, disposal and reuse**. 5. ed. New York: McGraw Hill, 2014. 2014.
- MINGSHU, L.; KAI, Y.; QIANG, H.; DONGYING, J. Biodegradation of gallotannins and ellagitannins. **Journal of Basic Microbiology**, v. 46, n. 1, p. 68–84, 2006.
- MONLAU, F.; SAMBUSITI, C.; BARAKAT, A.; QUÉMÉNEUR, M.; TRABLY, E.; STEYER, J.-P.; CARRÈRE, H. Do furanic and phenolic compounds of lignocellulosic and algae biomass hydrolyzate inhibit anaerobic mixed cultures? A comprehensive review. **Biotechnology Advances**, v. 32, n. 5, p. 934–951, 2014.
- MONTELONGO, J. -L; CHASSY, B. M.; MCCORD, J. D. Lactobacillus salivarius for Conversion of Soy Molasses into Lactic Acid. **Journal of Food Science**, v. 58, n. 4, p. 863–866, 1993.
- MOREIRA, F. S.; MACHADO, R. G.; BATISTA, F. R. X.; FERREIRA, J. de S.; CARDOSO, V. L. **Avaliação Da Produção De Hidrogênio Usando Melão De Soja Como Substrato Por Cultura Pura Evaluation Of Hydrogen Production Applying Soy Molasses By Pure Culture**, 2016.
- MOUBARIK, A.; GRIMI, N.; BOUSSETTA, N.; PIZZI, A. Isolation and characterization of lignin from Moroccan sugar cane bagasse: Production of lignin–phenol-formaldehyde wood adhesive. **Industrial Crops and Products**, v. 45, p. 296–302, 2013.
- NAIR, G.; SONI, B.; SHAH, M. **A comprehensive review on electro-oxidation and its types for wastewater treatment**. Elsevier B.V., 2023.
- NGWENYA, N.; GASZYNSKI, C.; IKUMI, D. A review of winery wastewater treatment: A focus on UASB biotechnology optimisation and recovery strategies. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 10, n. 4, p. 108172, 2022.
- NNAJI, C. C. A review of the upflow anaerobic sludge blanket reactor. **Desalination and Water Treatment**, v. 52, n. 22–24, p. 4122–4143, 2014.
- OLIVEIRA, J. M. de; MICHELON, M.; BURKERT, C. A. V. Biotechnological potential of soybean molasses for the production of extracellular polymers by diazotrophic bacteria. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 25, p. 101609, 2020.
- OMENA, S. P. F.; SADER, L. T.; SILVA, E. L. Simultaneous removal of phenol and nitrate in an anoxic fluidized bed reactor. **Journal of Environmental Science and Health, Part A**, v. 48, n. 5, p. 581–591, 2013.
- ONU. **COP28: Climate action can't wait.**: United Nations, 2023. Disponível em:

https://www.un.org/climatechange/cop28?gclid=CjwKCAiA04arBhAkEiwAuNOsItZNaWNYecwqsK4YftdoUa_l-b9BoTmbn_qNj9fAUsPts_uNWQC62xoCc3QQAvD_BwE. Acesso em: 24 nov. 2023.

OREGUI-BENGOECHEA, M.; AGIRRE, I.; IRIONDO, A.; LOPEZ-URIONABARRENECHEA, A.; REQUIES, J. M.; AGIRREZABAL-TELLERIA, I.; BIZKARRA, K.; BARRIO, V. L.; CAMBRA, J. F. **Heterogeneous Catalyzed Thermochemical Conversion of Lignin Model Compounds: An Overview**. Springer International Publishing, 2019.

ORTEGA-MARTÍNEZ, E.; CHAMY, R.; JEISON, D. Thermal pre-treatment: Getting some insights on the formation of recalcitrant compounds and their effects on anaerobic digestion. **Journal of Environmental Management**, v. 282, p. 111940, 2021.

OUHIDA, I.; F. PÉREZ, J.; GASA, J. Soybean (*Glycine max*) Cell Wall Composition and Availability to Feed Enzymes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 7, p. 1933–1938, 2002.

PACTO GLOBAL - ODS E AGENDA 2030. Disponível em: <https://www.pactoglobal.org.br/ods-e-agenda-2030/>. Acesso em: 9 fev. 2024.

PALACIOS-BERECHE, M. C.; PALACIOS-BERECHE, R.; ENSINAS, A. V.; GALLEGO, A. G.; MODESTO, M.; NEBRA, S. A. Brazilian sugar cane industry – A survey on future improvements in the process energy management. **Energy**, v. 259, 2022.

PAN, K.; TIAN, M.; JIANG, Z. H.; KJARTANSON, B.; CHEN, A. Electrochemical oxidation of lignin at lead dioxide nanoparticles photoelectrodeposited on TiO₂ nanotube arrays. **Electrochimica Acta**, v. 60, p. 147–153, 2012.

PANDEY, M. P.; KIM, C. S. Lignin Depolymerization and Conversion: A Review of Thermochemical Methods. **Chemical Engineering e Technology**, v. 34, n. 1, p. 29–41, 2011.

PANIZZA, M.; CERISOLA, G. Electrochemical generation of H₂O₂ in low ionic strength media on gas diffusion cathode fed with air. **Electrochimica Acta**, v. 54, n. 2, p. 876–878, 2008.

PAQUES. **BIOPAQ®UASB - PAQUES**. 2023. Disponível em: <https://en.paques.nl/products/featured/biopaq-anaerobic-wastewater-treatment/biopaquasb>. Acesso em: 16 nov. 2023.

PARANJPE, A.; SAXENA, S.; JAIN, P. A Review on Performance Improvement of Anaerobic Digestion Using Co-Digestion of Food Waste and Sewage Sludge. **Journal of Environmental Management**, v. 338, p. 117733, 2023.

PARK, J.-H.; CHEON, H.-C.; YOON, J.-J.; PARK, H.-D.; KIM, S.-H. Optimization of batch dilute-acid hydrolysis for biohydrogen production from red algal biomass. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 38, n. 14, p. 6130–6136, 2013.

PARSHINA, S. N.; KLEEREBEZEM, R.; VAN KEMPEN, E.; NOZHEVNIKOVA, A. N.; LETTINGA, G.; STAMS, A. J. M. Benzaldehyde conversion by two anaerobic bacteria isolated from an upflow anaerobic sludge bed reactor. **Process Biochemistry**, v. 36, n. 5, p. 423–429, 2000.

PASALARI, H.; ESRAFILI, A.; REZAEE, A.; GHOLAMI, M.; FARZADKIA, M. Electrochemical oxidation pretreatment for enhanced methane potential from landfill leachate in anaerobic co-digestion process: Performance, Gompertz model, and energy assessment. **Chemical Engineering Journal**, v. 422, 2021.

PASSOS, F.; BRESSANI-RIBEIRO, T.; REZENDE, S.; CHERNICHARO, C. A. L. Potential Applications of Biogas Produced in Small-Scale UASB-Based Sewage Treatment Plants in Brazil. **Energies**, v. 13, n. 13, p. 3356, 2020.

PATEL, R.; DHAR, P.; BABAEI-GHAZVINI, A.; NIKKHAH DAFCHAHI, M.; ACHARYA, B. **Transforming lignin into renewable fuels, chemicals, and materials: A review**. Elsevier Ltd, 2023.

PAULA, L. E. R.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BIANCHI, M. L. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **CERNE**, v. 17, n. 2, p. 237–246, 2011.

PEÑA, M. R.; MARA, D. D.; AVELLA, G. P. Dispersion and treatment performance analysis of an UASB reactor under different hydraulic loading rates. **Water Research**, v. 40, n. 3, p. 445–452, 2006.

PEREIRA, S. F. **Efeito Da Estabilização De Lodo Aeróbio Excedente No Reator Uasb Sobre O Desempenho Do Sistema De Tratamento**. 2022. Dissertação - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE, Natal/RN 2022.

PEREIRA, J. O.; ROCHA, J. M.; PINTO, W. B. C. C.; MOREIRA, C. T. S. Reduction of scum production in a modified UASB reactor treating domestic sewage. **Water Science and Technology**, v. 79, n. 9, p. 1657–1666, 2019.

PHUTTARO, C.; SAWATDEENARUNAT, C.; SURENDRA, K. C.; BOONSAWANG, P.; CHAIPRAPAT, S.; KHANAL, S. K. Anaerobic digestion of hydrothermally-pretreated lignocellulosic biomass: Influence of pretreatment temperatures, inhibitors and soluble organics on methane yield. **Bioresource Technology**, v. 284, p. 128–138, 2019.

PREECE, K. E.; HOOSHYAR, N.; ZUIDAM, N. J. Whole soybean protein extraction processes: A review. **Innovative Food Science e Emerging Technologies**, v. 43, p. 163–172, 2017.

QIAO, Y.; ZHANG, K.; ZHANG, Z.; ZHANG, C.; SUN, Y.; FENG, Z. Fermented soybean foods: A review of their functional components, mechanism of action and factors influencing their health benefits. **Food Research International**, v. 158, p. 111575, 2022.

QURESHI, N.; LOLAS, A.; BLASCHEK, H. P. **Soy molasses as fermentation substrate for production of butanol using Clostridium beijerinckii BA101**. [S. l.: s. n.], 2001. Disponível em: www.nature.com/jim.

RAGAUSKAS, A. J.; BECKHAM, G. T.; BIDDY, M. J.; CHANDRA, R.; CHEN, F.; DAVIS, M. F.; DAVISON, B. H.; DIXON, R. A.; GILNA, P.; KELLER, M.; LANGAN, P.; NASKAR, A. K.; SADDLER, J. N.; TSCHAPLINSKI, T. J.; TUSKAN, G. A.; WYMAN, C. E. Lignin Valorization: Improving Lignin Processing in the Biorefinery. **Science**, v. 344, n. 6185, 2014.

RAMAKRISHNAN, A.; SURAMPALLI, R. Y. Comparative performance of UASB and anaerobic hybrid reactors for the treatment of complex phenolic wastewater. **Bioresource Technology**, v. 123, p. 352–359, 2012.

RAMZAN, H.; USMAN, M.; NADEEM, F.; SHAHZAIB, M.; UR RAHMAN, M.; SINGHANIA, R. R.; JABEEN, F.; PATEL, A. K.; QING, C.; LIU, S.; PIECHOTA, G.; TAHIR, N. Depolymerization of lignin: Recent progress towards value-added chemicals and biohydrogen production. **Bioresource Technology**, v. 386, 2023.

RÉKÁSI, M.; MAZSU, N.; DRASKOVITS, E.; BERNHARDT, B.; SZABÓ, A.; RIVIER, P. A.; FARKAS, C.; BORSÁNYI, B.; PIRKÓ, B.; MOLNÁR, S.; KÁTAY, G.; UZINGER, N. Comparing the agrochemical properties of compost and vermicomposts produced from municipal sewage sludge digestate. **Bioresource Technology**, v. 291, p. 121861, 2019.

REN, T.; MU, Y.; NI, B.; YU, H. Hydrodynamics of upflow anaerobic sludge blanket reactors. **AIChE Journal**, v. 55, n. 2, p. 516–528, 2009.

RINALDI, R.; JASTRZEBSKI, R.; CLOUGH, M. T.; RALPH, J.; KENNEMA, M.; BRUIJNINCX, P. C. A.; WECKHUYSEN, B. M. Paving the Way for Lignin Valorisation: Recent Advances in Bioengineering, Biorefining and Catalysis. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 55, n. 29, p. 8164–8215, 2016.

RIPLEY, L. E.; BOYLER, W. C.; CONVERSE, J. C. Improved Alkalimetric Monitoring for Anaerobic Digestion of High-Strength Wastes. **Journal (Water Pollution Control Federation)**, v. 58, n. 5, p. 406–411, 1986. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/25042933>. Acesso em: 27 nov. 2023.

RIZVI, H.; AHMAD, N.; ABBAS, F.; BUKHARI, I. H.; YASAR, A.; ALI, S.; YASMEEN, T.; RIAZ, M. Start-up of UASB reactors treating municipal wastewater and effect of temperature/sludge age and hydraulic retention time (HRT) on its performance. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 8, n. 6, p. 780–786, 2015.

RIZVI, H.; ALI, S.; YASAR, A.; ALI, M.; RIZWAN, M. Applicability of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor for typical sewage of a small community: its biomass reactivation after shutdown. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 15, n. 8, p. 1745–1756, 2018.

ROBIN, D.; COMTOIS, M.; MARTEL, A.; LEMIEUX, R.; CHEONG, A. K.; BELOT, G.; LESSARD, J. The electrocatalytic hydrogenation of fused poly cyclic aromatic compounds at Raney nickel electrodes: the influence of catalyst activation and electrolysis conditions. **Canadian Journal of Chemistry**, v. 68, n. 7, p. 1218–1227, 1990.

ROCHA SILVA, C. DA. **Remoção De Galactooligossacarídeos Em Melaço De Soja Para Obtenção De Produtos De Interesse Industrial**. 2010. These - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG 2010.

RODRIGUES, C. V.; CAMARGO, F. P.; LOURENÇO, V. A.; SAKAMOTO, I. K.; MAINTINGUER, S. I.; SILVA, E. L.; VARESCHE, M. B. A. Optimized conditions for methane production and energy valorization through co-digestion

of solid and liquid wastes from coffee and beer industries using granular sludge and cattle manure. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 11, n. 6, p. 111250, 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213343723019899>. Acesso em: 29 out. 2023.

RODRIGUES, Brenda Clara Gomes; DE MELLO, B. S.; GONSALES DA COSTA ARAUJO, M. L.; RIBEIRO DA SILVA, G. H.; SARTI, A. Soybean molasses as feedstock for sustainable generation of biomethane using high-rate anaerobic reactor. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 4, 2021.

RODRIGUES ; DE MELLO, B. S.; GRANGEIRO, L. C.; SARTI, A.; DUSSÁN, K. J. Microbial Degradation in the Biogas Production of Value-Added Compounds. *Em: ENVIRONMENTAL AND MICROBIAL BIOTECHNOLOGY*. Singapore: Springer, 2021. p. 47–90.

RODRIGUES, M. S.; MOREIRA, F. S.; CARDOSO, V. L.; DE RESENDE, M. M. Soy molasses as a fermentation substrate for the production of biosurfactant using *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 10145. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 22, p. 18699–18709, 2017.

ROMÃO, B. B.; DA SILVA, F. B.; DE RESENDE, M. M.; CARDOSO, V. L. Ethanol production from hydrolyzed soybean molasses. **Energy and Fuels**, v. 26, n. 4, p. 2310–2316, 2012. Disponível em: Acesso em: 24 out. 2023.

ROSENKRANZ, F.; CABROL, L.; CARBALLA, M.; DONOSO-BRAVO, A.; CRUZ, L.; RUIZ-FILIPPI, G.; CHAMY, R.; LEMA, J. M. Relationship between phenol degradation efficiency and microbial community structure in an anaerobic SBR. **Water Research**, v. 47, n. 17, p. 6739–6749, 2013.

SAHITO, A. R.; BUX MAHAR, R.; BROHI, M. Anaerobic Co-Digestion of Canola Straw and Buffalo Dung: Optimization of Methane Production in Batch Experiments. *Journal of Engineering e Technology*, 2014. v. 33, p. 49–60.

SALMINEN, E.; RINTALA, J. Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste - A review. **Bioresource Technology**, v. 83, n. 1, p. 13–26, 2002.

SANCHETI, A.; THOMPSON, E. R.; JU, L. K. Factors influencing the enzymatic hydrolysis of soy molasses into fermentation feedstock. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 170, p. 110302, 2023.

SANTOS, S. L. dos. **Influência da geometria de reatores UASB em escala unifamiliar sobre seu desempenho no tratamento de esgoto**. 2016. Tese - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande/PB 2016.

SANTOS, E. M. A.; DO NASCIMENTO, A. T. P.; PAULINO, T. R. S.; BARROSO, B. C. S.; AGUIAR, C. R. Reator anaeróbio tipo UASB conjugado com processo Fenton para remoção de cor e demanda química de oxigênio de água residuária sintética de indústria têxtil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 285–292, 2017.

SANTOS, S. L. dos; HAANDEL, A. van. Influência da temperatura sobre o desempenho do tratamento anaeróbio de esgoto. **Revista DAE**, v. 67, n. 216, p. 52–69, 2019.

SÃO PAULO. **DECRETO N.º 8.468, DE 8 DE SETEMBRO DE 1976. Dispõe Sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente**. 1976.

SARATALE, R. G.; SHIN, H. S.; GHODAKE, G. S.; KUMAR, G.; OH, M. K.; SARATALE, G. D. Combined effect of inorganic salts with calcium peroxide pretreatment for kenaf core biomass and their utilization for 2,3-butanediol production. **Bioresource Technology**, v. 258, p. 26–32, 2018.

SARTI, A.; TAVARES VIEIRA, L. G.; FORESTI, E.; ZAIAT, M. Influence of the liquid-phase mass transfer on the performance of a packed-bed bioreactor for wastewater treatment. **Bioresource Technology**, v. 78, n. 3, p. 231–238, 2001.

SHAHPERI, R.; DIN, M. F. Md.; CHELLIAPAN, S.; ARIS, M. A. Md.; SELVAM, S. B.; ABDULLAH, N.; YUZIR, M. A. M. Optimization of methane production process from synthetic glucose feed in a multi-stage anaerobic bioreactor. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 60, p. 29168–29177, 2016.

SI, X.; LU, F.; CHEN, J.; LU, R.; HUANG, Q.; JIANG, H.; TAARNING, E.; XU, J. A strategy for generating high-quality cellulose and lignin simultaneously from woody biomass. **Green Chemistry**, v. 19, n. 20, p. 4849–4857, 2017.

SILVA, J. de A. da; VAN HAANDEL, A. Estabilização de Lodo de Pós-tratamento Aeróbio na Unidade de Pré Tratamento Anaeróbio. **Revista DAE**, v. 62, n. 194, p. 86–103, 2014.

- SINGH, S.; GHATAK, H. R. Vanillin Formation by Electrooxidation of Lignin on Stainless Steel Anode: Kinetics and By-Products. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, v. 37, n. 6, p. 407–422, 2017.
- SINGH, K. S.; VIRARAGHAVAN, T.; BHATTACHARYYA, D. Sludge Blanket Height and Flow Pattern in UASB Reactors: Temperature Effects. **Journal of Environmental Engineering**, v. 132, n. 8, p. 895–900, 2006.
- SINGH, L.; WAHID, Z. A.; SIDDIQUI, M. F.; AHMAD, A.; RAHIM, M. H. A.; SAKINAH, M. Application of immobilized upflow anaerobic sludge blanket reactor using *Clostridium* LS2 for enhanced biohydrogen production and treatment efficiency of palm oil mill effluent. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 38, n. 5, p. 2221–2229, 2013.
- SIQUEIRA, P. F.; KARP, S. G.; CARVALHO, J. C.; STURM, W.; RODRÍGUEZ-LEÓN, J. A.; THOLOZAN, J. L.; SINGHANIA, R. R.; PANDEY, A.; SOCCOL, C. R. Production of bio-ethanol from soybean molasses by *Saccharomyces cerevisiae* at laboratory, pilot and industrial scales. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 17, p. 8156–8163, 2008.
- SMITH, C. Z.; UTLEY, J. H. P.; HAMMOND, J. K. Electro-organic reactions. Part 60[1]. The electro-oxidative conversion at laboratory scale of a lignosulfonate into vanillin in an FM01 filter press flow reactor: preparative and mechanistic aspects. **Journal of Applied Electrochemistry**, v. 41, n. 4, p. 363–375, 2011.
- SOLAIMAN, D. K. Y.; ASHBY, R. D.; CROCKER, N. V. Bioprocess for hydrolysis of galacto-oligosaccharides in soy molasses and tofu whey by recombinant *Pseudomonas chlororaphis*. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 24, p. 101529, 2020.
- SONG, Y.; PEI, L.; CHEN, G.; MU, L.; YAN, B.; LI, H.; ZHOU, T. Recent advancements in strategies to improve anaerobic digestion of perennial energy grasses for enhanced methane production. **Science of The Total Environment**, v. 861, p. 160552, 2023.
- SOUZA, F. L.; AQUINO, J. M.; MIWA, D. W.; RODRIGO, M. A.; MOTHEO, A. J. Photo-assisted electrochemical degradation of the dimethyl phthalate ester on DSA® electrode. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 2, n. 2, p. 811–818, 2014.
- SPEECE, R. **Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters**. Archae Press., 1996.
- STIEFEL, S.; SCHMITZ, A.; PETERS, J.; DI MARINO, D.; WESSLING, M. An integrated electrochemical process to convert lignin to value-added products under mild conditions. **Green Chemistry**, v. 18, n. 18, p. 4999–5007, 2016.
- SUN, R. Lignin Source and Structural Characterization. **ChemSusChem**, v. 13, n. 17, p. 4385–4393, 2020.
- SUN, Z.; FRIDRICH, B.; DE SANTI, A.; ELANGOVA, S.; BARTA, K. Bright Side of Lignin Depolymerization: Toward New Platform Chemicals. **Chemical Reviews**, v. 118, n. 2, p. 614–678, 2018.
- TABATABAEI, M.; AGHBASHLO, M.; VALIJANIAN, E.; KAZEMI SHARIAT PANAH, H.; NIZAMI, A.-S.; GHANAVATI, H.; SULAIMAN, A.; MIRMOHAMADSADEGHI, S.; KARIMI, K. A comprehensive review on recent biological innovations to improve biogas production, Part 1: Upstream strategies. **Renewable Energy**, v. 146, p. 1204–1220, 2020.
- TAY, J.-H.; HE, Y.-X.; YAN, Y.-G. Improved Anaerobic Degradation of Phenol with Supplemental Glucose. **Journal of Environmental Engineering**, v. 127, n. 1, p. 38–45, 2001.
- TAY, J.-H.; XU, H.-L.; TEO, K.-C. Molecular Mechanism of Granulation. I: H⁺ **Translocation-Dehydration Theory**. **Journal of Environmental Engineering**, v. 126, n. 5, p. 403–410, 2000.
- TAY, J.; YAN, Y. Influence of substrate concentration on microbial selection and granulation during start-up of upflow anaerobic sludge blanket reactors. **Water Environment Research**, v. 68, n. 7, p. 1140–1150, 1996.
- TCHOBANOGLOUS, G.; BURTON, F. L.; DAVID STENSEL, H. **Wastewater Engineering Treatment and Reuse (Fourth Edition)**, 2003.
- THAUER, R. K.; JUNGERMANN, K.; DECKER, K. Energy conservation in chemotrophic anaerobic bacteria. **Bacteriological Reviews**, v. 41, n. 1, p. 100–180, 1977.
- TNC, T. N. C. **COP28: Para enfrentar a crise climática, toda ação conta**. 2023. Disponível em: https://www.tnc.org.br/conecte-se/comunicacao/noticias/tnc-na-cop-28/?utm_source=googleutm_medium=cpceutm_campaign=searcheutm_term=grantsegad_source=1egclid=Cj

wKCAiA04arBhAkEiwAuNOsIkWtv1bb9e8BXA1DvMDfqa-ohG1K5om4RHmKJFG1_T4mQwjDhydIUxoCrdsQAvD_BwE. Acesso em: 24 nov. 2023.

USDA, U. S. D. of A. **World Production - Soybean 2023**. 2023. Disponível em: <https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=2222000>. Acesso em: 24 out. 2023.

VAN HAANDEL, A.; KATO, M. T.; CAVALCANTI, P. F. F.; FLORENCIO, L. **Anaerobic reactor design concepts for the treatment of domestic wastewater**. Kluwer Academic Publishers, 2006.

VAN LIER, J. B. High-rate anaerobic wastewater treatment: diversifying from end-of-the-pipe treatment to resource-oriented conversion techniques. **Water Science and Technology**, v. 57, n. 8, p. 1137–1148, 2008.

VAN LIER, J. B.; LETTINGA, G. Appropriate technologies for effective management of industrial and domestic waste waters: The decentralised approach. **Water Science and Technology**, v. 40, n. 7, 1999.

VAN LIER, J. B.; VAN DER ZEE, F. P.; FRIJTERS, C. T. M. J.; ERSAHIN, M. E. Celebrating 40 years anaerobic sludge bed reactors for industrial wastewater treatment. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 14, n. 4, p. 681–702, 2015.

VARDON, D. R.; FRANDEN, M. A.; JOHNSON, C. W.; KARP, E. M.; GUARNIERI, M. T.; LINGER, J. G.; SALM, M. J.; STRATHMANN, T. J.; BECKHAM, G. T. Adipic acid production from lignin. **Energy e Environmental Science**, v. 8, n. 2, p. 617–628, 2015.

VEERESH, G. S.; KUMAR, P.; MEHROTRA, I. Treatment of phenol and cresols in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) process: a review. **Water Research**, v. 39, n. 1, p. 154–170, 2005.

VEOLIA. **Biothane® Advanced UASB | Veolia Water Technologies Biothane**. 2023. Disponível em: <https://www.biothanesolutions.com/technologies/biothane-advanced-uasb>. Acesso em: 16 nov. 2023.

VIDAL, G.; VIDELA, S.; DIEZ, M. C. Molecular weight distribution of Pinus radiata kraft mill wastewater treated by anaerobic digestion. **Bioresource Technology**, v. 77, n. 2, p. 183–191, 2001.

VIEIRA, S. M. M.; GARCIA, A. D. Sewage Treatment by UASB-Reactor. Operation Results and Recommendations for Design and Utilization. **Water Science and Technology**, v. 25, n. 7, p. 143–157, 1992.

VILLA-MONTOYA, A. C.; FERRO, M. I. T.; DE OLIVEIRA, R. A. Removal of phenols and methane production with coffee processing wastewater supplemented with phosphorous. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 14, n. 1, p. 61–74, 2017.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. D. L. Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions. **IWA Publishing**, p. 1–856, 2005. Disponível em: <http://choicereviews.org/review/10.5860/CHOICE.45-2633>.

WANG, T.; LI, H.; DIAO, X.; LU, X.; MA, D.; JI, N. **Lignin to dispersants, adsorbents, flocculants and adhesives: A critical review on industrial applications of lignin**. Elsevier B.V., 2023.

WANG, H.; PU, Y.; RAGAUSKAS, A.; YANG, B. From lignin to valuable products—strategies, challenges, and prospects. **Bioresource Technology**, v. 271, p. 449–461, 2019. Disponível em: Acesso em: 19 out. 2023.

WANG, H. M.; SUN, Y. C.; WANG, B.; SUN, D.; SHI, Q.; ZHENG, L.; WANG, S. F.; LIU, S. J.; XIA, R. R.; SUN, R. C. Insights into the Structural Changes and Potentials of Lignin from Bagasse during the Integrated Delignification Process. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, v. 7, n. 16, p. 13886–13897, 2019.

WANG, Y.; YANG, F.; LIU, Z.; YUAN, L.; LI, G. Electrocatalytic degradation of aspen lignin over Pb/PbO₂ electrode in alkali solution. **Catalysis Communications**, v. 67, p. 49–53, 2015. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1566736715001363>.

WIEGANT, W. Separation of the propionate degradation to improve the efficiency of thermophilic anaerobic treatment of acidified wastewaters. **Water Research**, v. 20, n. 4, p. 517–524, 1986.

WU, X.; DE BRUYN, M.; BARTA, K. A Diamine-Oriented Biorefinery Concept Using Ammonia and Raney Ni as a Multifaceted Catalyst. **Chemie Ingenieur Technik**, v. 94, n. 11, p. 1808–1817, 2022.

- XIANG, Z.; HAN, W.; DENG, J.; ZHU, W.; ZHANG, Y.; WANG, H. Photocatalytic Conversion of Lignin into Chemicals and Fuels. **ChemSusChem**, v. 13, n. 17, p. 4199–4213, 2020.
- XIE, S.; HIGGINS, M. J.; BUSTAMANTE, H.; GALWAY, B.; NGHIEM, L. D. Current status and perspectives on anaerobic co-digestion and associated downstream processes. **Environmental Science: Water Research e Technology**, v. 4, n. 11, p. 1759–1770, 2018.
- YAN, K.; ZHANG, Y.; TU, M.; SUN, Y. Electrocatalytic Valorization of Organosolv Lignin Utilizing a Nickel-Based Electrocatalyst. **Energy eamp; Fuels**, v. 34, n. 10, p. 12703–12709, 2020.
- YANG, H.; WANG, Z.; LIN, M.; YANG, S. T. Propionic acid production from soy molasses by *Propionibacterium acidipropionici*: Fermentation kinetics and economic analysis. **Bioresource Technology**, v. 250, p. 1–9, 2018.
- YANG, S. Tian.; YU, Mingrui. Integrated Biorefinery for Sustainable Production of Fuels, Chemicals, and Polymers. *Em: BIOPROCESSING TECHNOLOGIES IN BIOREFINERY FOR SUSTAINABLE PRODUCTION OF FUELS, CHEMICALS, AND POLYMERS*. [S. l.]: Wiley, 2013. p. 1–26.
- ZAKZESKI, J.; C. A. BRUIJNINCX, P.; L. JONGERIUS, A.; M. WECKHUYSEN, B. The Catalytic Valorization of Lignin for the Production of Renewable Chemicals. **Chemical Reviews**, v. 110, n. 6, p. 3552–3599, 2010.
- ZHANG, L.; GU, J.; WANG, X.; ZHANG, R.; TUO, X.; GUO, A.; QIU, L. Fate of antibiotic resistance genes and mobile genetic elements during anaerobic co-digestion of Chinese medicinal herbal residues and swine manure. **Bioresource Technology**, v. 250, p. 799–805, 2018.
- ZHANG, C.; JIANG, Y.; LI, Y.; HU, Z.; ZHOU, L.; ZHOU, M. Three-dimensional electrochemical process for wastewater treatment: A general review. **Chemical Engineering Journal**, v. 228, p. 455–467, 2013.
- ZHANG, L.; LI, Q.; ZHANG, W.; BAKALIS, S.; LUO, Y.; LAMETSCH, R. Different source of commercial soy protein isolates: Structural, compositional, and physicochemical characteristics in relation to protein functionalities. **Food Chemistry**, v. 433, p. 137315, 2024.
- ZHANG, J.; LOMBARDO, L.; GOZAYDIN, G.; DYSON, P. J.; YAN, N. Single-step conversion of lignin monomers to phenol: Bridging the gap between lignin and high-value chemicals. **Chinese Journal of Catalysis**, v. 39, n. 9, p. 1445–1452, 2018.
- ZHANG, S.; ZHANG, Z.; GE, M.; LIU, B.; CHEN, S.; ZHANG, D.; GAO, L. Converting lignin into long-chain fatty acids with the electro-Fenton reaction. **GCB Bioenergy**, v. 13, n. 8, p. 1290–1302, 2021.
- ZIRBES, M.; L. QUADRI, L.; BREINER, M.; STENGLEIN, A.; BOMM, A.; SCHADE, W.; R. WALDVOGEL, S. High-Temperature Electrolysis of Kraft Lignin for Selective Vanillin Formation. **ACS Sustainable Chemistry eamp; Engineering**, v. 8, n. 19, p. 7300–7307, 2020.
- ZIRBES, M.; SCHMITT, D.; BEISER, N.; PITTON, D.; HOFFMANN, T.; WALDVOGEL, S. R. Anodic Degradation of Lignin at Active Transition Metal-based Alloys and Performance-enhanced Anodes. **ChemElectroChem**, v. 6, n. 1, p. 155–161, 2019.
- ZUNTINI, A. S.; RODRIGUES, C. M.; ARANTES, E. J. Verificação Da Eficiência Na Partida De Um Reator Uasb Para O Tratamento De Esgoto Sanitário Em Uma Universidade. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 11, n. 8, p. 139–150, 2015.