



De 11 a 14 - NOVEMBRO DE 2024

**Inteligência Artificial
na Gestão de Operações:**
Limitações e possibilidades



DIGESTÃO ANAERÓBIA RUMO ÀS BIORREFINARIAS

ILDEFONSO ALVARENGA CORDEIRO JUNIOR – ildefonsojr@hotmail.com
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - UTFPR

ANNALIZA CARVALHO MENEGUELLI DE SOUZA – annaliza.souza@iff.edu.br
INSTITUTO FEDERAL FLUMINENSE - IFF

LAERCIO MANTOVANI FRARE - laercio@utfpr.edu.br
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - UTFPR

ÁREA: 09. ENGENHARIA DA SUSTENTABILIDADE
SUBÁREA: 9.5 - PRODUÇÃO MAIS LIMPA E ECOEFICIÊNCIA

RESUMO: O MODELO PRODUTIVO VIGENTE E O CRESCIMENTO POPULACIONAL PRESSIONAM O AMBIENTE IMPULSIONANDO A BUSCA POR NOVAS FORMAS DE PRODUZIR. O CONCEITO DE BIORREFINARIA É ADERENTE AO USO DE BIOMASSA RESIDUAL PARA OBTER UMA BASE PRODUTIVA, CONHECIDA COMO PLATAFORMA QUÍMICA, PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA E VARIADOS PRODUTOS RENOVÁVEIS. NO ENTANTO, A TRANSIÇÃO ENTRE MODELOS PRODUTIVOS TEM SEUS OBSTÁCULOS. ESTA BREVE REVISÃO AVALIA A DIGESTÃO ANAERÓBIA COMO PROMOTORA DO CONCEITO DE BIORREFINARIA E EXAMINA, NESSE CONTEXTO, ROTAS DE MELHORIAS DE SUA EFICIÊNCIA QUE FAVOREÇAM O BIORREFINO. ASSIM, SÃO ABORDADOS OS DESAFIOS DAS BIORREFINARIAS E DIGESTÃO ANAERÓBIA COM FOCO EM POTENCIAIS INTERSEÇÕES DE OPORTUNIDADES. A DIGESTÃO ANAERÓBIA É IDENTIFICADA COMO POTENCIAL ALIADA PARA SUSTENTAR BENEFÍCIOS AMBIENTAIS E MELHORIA DA EFICIÊNCIA POR MEIO DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DA PRODUÇÃO. AS PLATAFORMAS DOS CARBOXILATOS E BIOHIDROGÊNIO COMBINADAS AO BIOGÁS E DIÓXIDO DE CARBONO REVELAM A DIGESTÃO ANAERÓBIA EM DUPLA ETAPA COMO ROTA PROMISSORA PARA TRANSIÇÃO ENTRE MODELOS PRODUTIVOS.

PALAVRAS-CHAVES: BIOENERGIA; BIOPRODUTOS; ÁCIDOS GRAXOS VOLÁTEIS; BIOHITANO.

1. INTRODUÇÃO

Há previsão de crescimento para 9 bilhões de pessoas em 2050, o que aumenta a demanda produtiva e as consequências do modelo baseado na petroquímica. A direção é para mais poluição, impactos no clima, degradação da água e solo. Paralelamente, a procura por produtos e seus precursores originados de biomassa apontam o anseio por sistemas produtivos alternativos ao petróleo, seus derivados e produtos não renováveis (DUPONT-INGLIS; BORG, 2018).

As biorrefinarias se propõem à conversão integrada e sustentável da biomassa, com aproveitamento tão completo quanto possível, obtendo variados produtos e energia. Isso é possível por meio da seleção de blocos químicos com múltiplos grupos funcionais e potencial para se transformar em novas famílias de moléculas. Essa característica evidencia o potencial em dispersar seus produtos de forma abrangente nas cadeias produtivas, ofertando substitutos ou equivalentes aos derivados petroquímicos (DE JONG *et al.*, 2020; VDI, 2016; WERPY; PETERSEN, 2004).

Cherubini *et al.* (2009) propuseram uma classificação padrão das biorrefinarias partindo da mais importante, a plataforma química, seguindo então com a biomassa, o (s) produto (s) de interesse (s) e, por fim, os processos de transformação. Este trabalho inverte a ordem, retoma Kamm e Kamm (2004), e sem o objetivo de classificar, sugere visão complementar, a fim de explorar formas de disseminação das biorrefinarias e seus benefícios. Assim, a condução inicia por biomassa e processo, o que indica os potenciais produtos e plataformas químicas.

Nessa compreensão, chama atenção o acúmulo de biomassa residual decorrente da concentração das atividades produtivas. Neste sentido, é fato que a digestão anaeróbia trata resíduos e efluentes orgânicos, sendo importante e consolidada ambientalmente. Ainda assim, o diferencial deste processo é que ao mesmo tempo em que trata, ela gera valor, partindo de passivos ambientais para energéticos e químicos finos (HARIRCHI *et al.*, 2022; KUNDU *et al.*, 2023).

Neste contexto, é realizada uma breve revisão para avaliar o potencial da digestão anaeróbia para difundir as biorrefinarias e é examinada a eficiência das etapas de conversão desse processo a fim de melhorar seu desempenho na perspectiva de integração do conceito de biorrefinaria aos sistemas produtivos existentes.

2. DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA BIORREFINARIAS

A produção florestal e agrícola como açúcar, álcool, amidonarias, papel, celulose e biocarvão são exemplos de biorrefinarias, o que revela a familiaridade e maturidade do termo. Assim, a busca recente é por uma abordagem aliando, principalmente, redução da pegada de carbono e a transição energética. Em essência, o benefício ao ambiente concomitante à melhoria da eficiência produtiva pode ocorrer por meio da redução de desperdícios. Porém, isso aumenta a complexidade operacional e eleva a exigência dos produtos (DE JONG *et al.*, 2020; DUPONT-INGLIS; BORG, 2018; OLIVEIRA, 2016).

A redução dos desperdícios pelo uso de resíduos e efluentes para bioenergia e bioprodutos, de forma difusa no território, pode ainda estimular capilaridade para o saneamento ambiental, a circularidade, renovabilidade e multifuncionalidade dos sistemas produtivos (DE JONG *et al.*, 2020; DUPONT-INGLIS; BORG, 2018). Para tanto, é imprescindível economias de escala. Desse modo, a biomassa residual deve atender aos requisitos de elevada e contínua disponibilidade, logística adequada, custos competitivos, bom rendimento e eficiência máxima de conversão (BARBOSA *et al.*, 2022; CASTILLO, 2015; JELANI; WALKER; AKUNNA, 2023).

Neste sentido, são cruciais as políticas de incentivo. O RenovaBio, no Brasil, *US Federal Renewable Fuel Standard* (RFS) e *European Renewable Energy Directive* (RED), são exemplos. O Renovabio, se vale da análise do ciclo de vida (ACV) para dar nota de eficiência energético-ambiental (NEEA) à biocombustíveis. A conversão em créditos de descarbonização (CBIOs) é tanto maior quanto a NEEA. Destaca-se o biometano, com maior nota. As metas de descarbonização garantem a demanda, já a venda de CBIOs gera receita adicional para os produtores de biocombustíveis. Isso poderia ser inspiração para incentivos similares aos químicos renováveis (p. ex. ácido Caproico, Ascórbico, Succínico) e insumos agropecuários (p. ex. grãos secos de destilaria) de biorrefinarias (BRAGA *et al.*, 2021; DE JONG *et al.*, 2020; EPE, 2023; MARTINELLI *et al.*, 2022; TALAMINI *et al.*, 2022).

Da mesma forma, o acesso a infraestrutura instalada é pilar para transição produtiva. A prestação de serviços auxiliares à rede elétrica são exemplos que garantem robustez, diversificação da matriz energética e descentralização. Nesses serviços, a bioenergia pode ser remunerada pela capacidade instalada. O acesso a rede elétrica, gasodutos, inserção em cadeias produtivas estabelecidas, uso de processos de transformação consolidados, assim como produção flexível entre biocombustíveis e químicos refinados são formas de aumentar a resiliência e viabilidade de biorrefinarias. A despeito da competição com petroquímicos, a

menor vulnerabilidade, pela desvinculação ao petróleo, pode ser útil como segurança energético-produtiva em crises econômicas, ambientais e geopolíticas (DE JONG *et al.*, 2020; IEA, 2023; ONS, 2023).

Em síntese, a concentração de biomassa residual nos setores, como os de biocombustíveis, agroindustriais, estações de tratamento de efluentes e aterros sanitários possui grande potencial por atender os requisitos de biomassa, de descentralização e economias de escala em biorrefinarias. Estes usos podem ser estimulados por políticas de incentivo e acesso à infraestrutura instalada para se valer de suas cadeias produtivas bem desenvolvidas. A abordagem de biorrefinaria integrando biocombustíveis, químicos finos e outros produtos pode inicialmente alavancar benefícios ambientais, de eficiência produtiva e melhorar a viabilidade desses empreendimentos. E posteriormente, servir de reserva crítica de energia, melhorando a resiliência em momentos de desequilíbrio.

3. DIGESTÃO ANAERÓBIA (DA)

A DA degrada sequencialmente a matéria orgânica. Isto ocorre em quatro reações bioquímicas complexas e interdependentes: a hidrólise, a acidogênese, a acetogênese e a metanogênese. As macromoléculas orgânicas iniciais resultam em dois grupos de produtos de interesse: o gasoso, composto, principalmente, por metano (CH_4), hidrogênio (H_2) e dióxido de carbono (CO_2); e o líquido, composto por ácidos carboxílicos de cadeia curta (ACCC) e álcoois, majoritariamente acetato, butirato, propionato e etanol. A formação de H_2 , ACCC e álcool ocorre até acetogênese, sendo produto base, exceto álcool, para formação de CH_4 , na metanogênese (HARIRCHI *et al.*, 2022; KUNZ *et al.*, 2022; REHMAN *et al.*, 2019).

Os grupos microbianos, por fase, são: fungos e bactérias hidrolíticos e acidogênicos anaeróbios e facultativos; bactérias acetogênicas e arqueas metanogênicas, ambas estritamente anaeróbias. As arqueas mais representativas são as acetoclásticas e hidrogenotróficas, que se multiplicam mais lentamente, tem maior sensibilidade a condições adversas e a mudanças das condições do ambiente que os demais microrganismos. Assim, a metanogênese é etapa limitante, ainda que, em caso de biomassa complexa, a hidrólise também possa ser. Isto pode ser mitigado com pré-tratamento (HARIRCHI *et al.*, 2022; KUNZ *et al.*, 2022; REHMAN *et al.*, 2019).

Na Tabela 1 são apresentados alguns parâmetros de influência na DA. As variáveis bióticas são a diversidade microbiana, o tempo de geração e a interação entre grupos, que na maior parte é harmônica, mas pode ser competitiva. As variáveis abióticas também

influenciam o balanço populacional no reator. Assim, quedas de pH, temperatura, relação carbono/nitrogênio (C/N) e tempo de retenção hidráulica (TRH) tendem a prejudicar as arqueas. Em caso de variações significativas, mesmo dentro da faixa adequada, as arqueas ainda são as mais prejudicadas (HARIRCHI *et al.*, 2022; KUNZ *et al.*, 2022; REHMAN *et al.*, 2019).

TABELA 1 – Parâmetros de influência na digestão anaeróbia

Parâmetros	Etapas da Digestão Anaeróbia	
	Hidrólise / Acidogênese	Metanogênese
pH	5,2 - 6,3	6,7 - 7,5
Temperatura [°C] Mesofílico	25 - 35	32 - 42
C/N	10 a 45	20 a 30
TRH*	menor	maior

Fonte: Kunz *et al.* (2022).

* Em reatores com retenção hidráulica igual a retenção de sólidos, o tempo de geração cinco vezes menor das metanogênicas é determinante no tempo do processo.

Sendo assim, é necessário um refinado controle de parâmetros abióticos para sustentar o equilíbrio do sistema e sua dinâmica populacional. Falhas e alterações podem ocasionar baixa eficiência de conversão, paradas operacionais ou mesmo colapso do sistema. O ajuste operacional para atender toda comunidade microbiana contrasta com a possibilidade de pontos ótimos para cada grupo (HARIRCHI *et al.*, 2022; KUNZ *et al.*, 2022; REHMAN *et al.*, 2019). Além disso, as pesquisas de Braga *et al.* (2021), Silva *et al.* (2020) e Hans e Kumar (2019) destacam o interesse industrial por produtos da DA até a acetogênese.

A literatura reporta a DA até a acetogênese, como fermentação acidogênica ou fermentação escura (*dark fermentation*). Os produtos de interesse desta etapa são o CO₂, H₂ e ACCC. Pelo fato de ser uma etapa intermediária e haver possíveis efeitos inibitórios, seu rendimento de produto é menor do que na DA convencional. Por outro lado, possuem maior valor agregado (HANS; KUMAR, 2019; PERIMENIS *et al.*, 2018).

Tais produtos revelam novas plataformas químicas. Na fermentação acidogênica, a plataforma dos carboxilatos e biohidrogênio. Na DA convencional, a plataforma do biogás e CO₂ (CHERUBINI *et al.*, 2009). A fase de pesquisa da fermentação acidogênica revela sua baixa maturidade tecnológica e os desafios. O controle de seus parâmetros abióticos, a extração e purificação dos produtos-alvo tem sido estudados (SILVA *et al.*, 2020).

Por outro lado, a digestão anaeróbia em dupla etapa (DADE) possibilita otimizar a dinâmica populacional microbiana em condições abióticas mais específicas para cada grupo.

Neste contexto, a DA pode ocorrer de forma contínua em dois reatores, com a fermentação acidogênica seguida da metanogênese. Isso permite operar com maior estabilidade e eficiência, além de possibilitar a produção biológica concomitante de ácidos carboxílicos de cadeia curta (ACCC), biohidrogênio, biogás e biometano. Os gases com prefixo “bio” esclarecem sua origem biológica, porém sendo equivalente quimicamente aos obtidos por outras fontes (DING *et al.*, 2022; VIVEK *et al.*, 2022).

Ainda neste sentido, a incorporação do biohidrogênio ao biogás ou ao biometano, originando o biohitano, tem se mostrado promissora na adoção da digestão anaeróbia em dupla etapa. Algumas vantagens relatadas são a melhora na emissão de carbono e óxidos de nitrogênio, redução de tempo de retenção, menor volume de reator, melhor recuperação de energia da biomassa dentre outros benefícios (HANS; KUMAR, 2019). Outras pesquisas com ACCC apontam o processo de alongamento da cadeia carbônica via etanol a fim de viabilizar a obtenção de ácidos valiosos, como o caproato. Esta via forma caproato como produto predominante com alta taxa de produção e especificidade. Para isso consome o acetato e butirato. O uso de biomassa que já tenha predisposição a ocorrência de etanol tem vantagem de menor custo (BRAGA *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2020).

4. INTERSEÇÕES DA DIGESTÃO ANAERÓBIA COM OS DESAFIOS DO BIORREFINO

Braga *et al.* (2021) ressaltam que grandes ganhos para a indústria podem vir de pequenas melhorias em produtos e processos. Como exemplo, a pesquisa de Ding *et al.* (2022) que comparando DA convencional e digestão anaeróbia em dupla etapa (DADE) com sobras de alimentos obtiveram redução de 40% no TRH, incremento de 25% do CH₄ e balanço energético 46% maior ao gerar H₂. A atenuação do TRH é proporcional ao incremento de capacidade de tratamento de resíduos.

Hans e Kumar (2019) relataram menor pegada de carbono com acréscimo do H₂ obtido por DADE. Logo, este processo possibilita aliança entre benefício ambiental e eficiência produtiva. A valorização de resíduos por bioenergia, apesar de incrementar a complexidade do empreendimento, trilha para transição energética e redução de emissões (HOLLAS, 2022; DE JONG *et al.*, 2020; OLIVEIRA, 2016).

Kumari (2019) e a ampla revisão de Hans e Kumar (2019) demonstram a potencialidade da DADE para tratar águas residuárias municipais ou industriais, vinhaça, glicerol, restos ou silagem de culturas, resíduos e dejetos animais, macrófitas e outras

biomassas. Por essa diversificada aptidão de tratamento pode haver difusão dos benefícios da DADE no território.

Levando isto em consideração e aliada a políticas de incentivo, os produtos da DADE possibilitariam receitas adicionais pelos atributos ambientais ou por permitirem remuneração da capacidade instalada para atender momentos críticos, a exemplo de termelétricas à biogás ou biometano e serviços à rede elétrica, o que pode melhorar a viabilidade e descentralização das biorrefinarias (ONS, 2023; IEA, 2023; MARTINELLI *et al.*, 2022; DE JONG *et al.*, 2020; LIMA, 2020).

Perimenis *et al.* (2018) extrapolou seus resultados de pesquisa e estimou o valor econômico obtido pela valorização de resíduos de cervejaria. A produção de ácidos carboxílicos via fermentação acidogênica obteve potencial de 11,7 milhões de euros/ano, na Bélgica. Esse valor significou um pouco mais que 30% do mercado total desses ácidos transacionados no país três anos antes. Já a valorização por CH₄ foi quase 3,4 vezes menor. A biomassa residual em processos intensivos em matéria orgânica garante a larga escala necessária em cadeias produtivas bem estruturadas.

No entanto, Perimenis *et al.* (2018) sugeriram uma visão de biorrefinaria, com aproveitamento do ácido de interesse e a matéria orgânica remanescente seguindo para metanogênese. A adoção da DADE confere valorização de resíduos, circularidade, renovabilidade de recursos e multifuncionalidade produtiva. Assim, as plataformas químicas habilitadas pela DADE são biogás, H₂, CO₂ e/ou carboxilatos o que garante flexibilidade para adequação ao produto de interesse (PERIMENIS *et al.*, 2018; DUPONT-INGLIS; BORG, 2018; CHERUBINI *et al.*, 2009).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conceito de biorrefinaria é capaz de guiar uma transição produtiva para um futuro com maior eficiência de produção e menos hostil com o ambiente onde se vive. O consenso mundial em favor de energia e produtos renováveis deve considerar prioritário o uso dos recursos desperdiçados em forma de resíduos e efluentes dos sistemas de produção. É fato a vocação da digestão anaeróbia para decomposição e valorização da matéria orgânica variada e complexa.

Este artigo conclui que a digestão anaeróbia pode alcançar diversas cadeias produtivas e essa característica é benéfica para difundir o conceito de biorrefinaria. Esta flexibilidade de difusão, seja pela matéria prima (resíduos) ou produto (plataformas), sugere o potencial da

digestão anaeróbia para transição produtiva.

Por outro lado, a DADE é uma otimização possível. Esta abordagem reduz o tempo de processo permitindo tratar mais resíduos, consegue utilizar melhor a biomassa disponível ao recuperar mais energia e possibilita duas novas plataformas, a dos carboxilatos e biohidrogênio. Portanto, a DADE favorece o conceito de biorrefinaria, ampliando a gama de produtos e, ainda, aumentando o valor agregado.

Neste sentido, avaliações técnico-econômicas devem ser consideradas devido aos maiores custos e processamento mais exigente. Além disso, na região de análise, os segmentos produtivos devem ser mapeados para identificação de viabilidade do produto-alvo. Por fim, devido a maturidade tecnológica da fermentação acidogênica ainda ser baixa, novas pesquisas podem ajudar o entendimento de inibições e a viabilidade de extração de produto em linha seguida da metanogênese.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, M.A.M. *et al.* Sorgo para bioenergia. In: COLLICCHIO, E.; ROCHA, H.R. (org.). **Agricultura e mudanças do clima no estado do Tocantins: vulnerabilidades, projeções e desenvolvimento**. Palmas, TO: EdUFT, p. 371-391, 2022.

BRAGA, M. *et al.* **Estudo bibliométrico e análise de patentes acerca da produção de ácidos carboxílicos e álcoois a partir de açúcares**. Parte 1: ácidos carboxílicos. Brasília, DF. Embrapa Agroenergia, 2021.

CASTILLO, R. Dinâmicas recentes do setor sucroenergético no Brasil: competitividade regional e expansão para o bioma Cerrado. **GEOgraphia**, v. 17, n. 35, p. 95-119, 2015.

CHERUBINI, F. *et al.* Toward a common classification approach for biorefinery systems. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 3, n. 5, p. 534-546, 2009.

DE JONG, E. *et al.* Bio-based Chemicals: A 2020 update. IEA Bioenergy, Task 42 **Biorefining in a Circular Economy**, v.1, p. 1-79, 2020.

DING, L. *et al.* Continuous co-generation of biohydrogen and biomethane through two-stage anaerobic digestion of hydrothermally pretreated food waste. **Energy Conversion and Management**, v. 268, p.116000, 2022.

DUPONT-INGLIS, J.; BORG, A. Destination bioeconomy – The path towards a smarter, more sustainable future. **New biotechnology**, v. 40, p. 140-143, 2018.

EPE (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA). **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis**. Diretoria de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis. Rio de Janeiro: EPE, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/analise-de-conjuntura-dos-biocombustiveis>. Acesso em: 10/06/2024

HANS, M.; KUMAR, S. Biohythane production in two-stage anaerobic digestion system. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 44, n. 32, p. 17363-17380, 2019.

HARIRCHI, S. *et al.* Microbiological insights into anaerobic digestion for biogas, hydrogen or volatile fatty acids (VFAs): a review. **Bioengineered**, v. 13, n. 3, p. 6521-6557, 2022.

HOLLAS, C.E. *et al.* Life cycle assessment of waste management from the Brazilian pig chain residues in two perspectives: Electricity and biomethane production. **Journal of Cleaner Production**, v. 354, p. 131654, 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Energy security**: ensuring the uninterrupted availability of energy sources at an affordable price. Disponível em: <https://www.iea.org/about/emergency-response-and-energy-security>. Acesso em: 05/12/2023.

JELANI, F.; WALKER, G.; AKUNNA, J. Effects of thermo-chemical and enzymatic pre-treatment of tropical seaweeds and freshwater macrophytes on biogas and bioethanol production. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 20, n. 12, p. 12999-13008, 2023.

KUMARI, S.; DAS, D. Biohythane production from sugarcane bagasse and water hyacinth: A way towards promising green energy production. **Journal of Cleaner Production**, v. 207, p. 689-701, 2019.

KUNDU, R. *et al.* Biochar symbiosis in anaerobic digestion to enhance biogas production: A comprehensive review. **Journal of Environmental Management**, v. 344, p. 118743, 2023.

KUNZ, A. *et al.* **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. 2 ed. Concordia/PR: Sbera - Embrapa Suínos e Aves, 211p. 2022. E-book. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/233131/1/final9894.pdf>. Acesso em: 19/05/2024.

LIMA, I. C. M de A. **Perspectivas e propostas para a expansão do biogás no brasil**: uma análise de políticas públicas. 2020. Dissertação (Mestrado em Planejamento energético) – Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

MARTINELLI, F.S. *et al.* Will Brazil's push for low-carbon biofuels contribute to achieving the SDGs? A systematic expert-based assessment. **Cleaner Environmental Systems**, v. 5, p. 100075, 2022.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). **Conexão ONS**: Serviços ancilares. Disponível em: <https://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20230206-conexaoons-servicos-ancilares.aspx>. Acesso em: 04/12/2023.

OLIVEIRA, B.C. **Complexidade em biorrefinarias**. 2016. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

PERIMENIS, A. *et al.* Comparison of the acidogenic and methanogenic potential of agroindustrial residues. **Waste Management**, v. 72, p. 178-185, 2018.

REHMAN, M.L.U. *et al.* Anaerobic digestion. **Water Environment Research**, v. 91, n. 10, p. 1253-1271, 2019.

SILVA, A. de S. *et al.* Fatores que influenciam a produção de ácidos carboxílicos a partir de resíduos agroindustriais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 5, p. 655-666, 2020.

TALAMINI, D.J.D. *et al.* **Viabilidade do uso de DDGS e DDG de milho na alimentação de frangos e suínos em Santa Catarina**. Concórdia, SC. Embrapa Suínos e Aves, 2022.

VDI. **VDI 6310** - Classification and Quality Criteria of Biorefineries. The Association of German Engineers (VDI): Düsseldorf, Germany, 2016.

VIVEK, N. *et al.* Sustainable technologies for platform and drop-in chemicals: production and applications. In: **Advanced Catalysis for Drop-in Chemicals**. Elsevier, 2022. p. 1-29.

WERPY, T., PETERSEN, G. **Top Value Added Chemicals from Biomass: Volume 1 - Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas**. US Department of Energy, Office of Scientific and Technical Information, 2004. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy04osti/35523.pdf>. Acesso em: 15/11/2023.