

BIODIGESTORES INTELIGENTES: GERAÇÃO TECNOLÓGICA DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTES ATRAVÉS DA CODIGESTÃO DE BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA E BACTÉRIAS ÁCIDO-LÁCTICAS (BAL)

*INTELLIGENT BIODIGESTORS:
BIOGAS' AND BIOFERTILIZERS' TECHNOLOGICAL GENERATION THROUGH CO-DIGESTION OF LIGNOCELLULOSIC BIOMASS AND LACTIC ACID BACTERIA (LAB)*

*BIODIGESTORES INTELIGENTES:
GENERACIÓN TECNOLÓGICA DE BIOGÁS Y BIOFERTILIZANTES MEDIANTE LA CODIGESTIÓN DE BIOMASA LIGNOCELULÓSICA Y BACTERIAS ÁCIDO-LÁCTICAS (BAL)*

Karin Amaral Silveira¹
Marcos Baroncini Proença²

Resumo

Este estudo objetivou analisar a biodigestão anaeróbia de um *blend* de substratos orgânicos e a estabilização da biomassa lignocelulósica com adição de bactérias ácido-láticas, em um protótipo de biorreator de bancada desenvolvido com microcontroladores, a fim de monitorar aspectos importantes da biodigestão, tais como temperatura, umidade e presença de CO₂, informações transcritas em códigos que geraram gráficos. Pensando coletivamente em um presente e um futuro sustentáveis, alternativas que colaboram para a preservação do meio ambiente são mais pesquisadas e desenvolvidas em um panorama ecologicamente próspero em constante evolução. As energias renováveis aderem a um novo espaço de prospecção energética global de maneira eficaz e inteligente, por meio de novos projetos para a preservação dos recursos naturais, demasiadamente escassos, que contribui diretamente com o Desenvolvimento Sustentável, pois agregam à economia, à sociedade e ao meio ambiente. A produção de biogás e biofertilizantes como alternativa na geração de energia e renda através da biodigestão de resíduos orgânicos em biodigestores demonstra resultados satisfatórios, principalmente em projetos de pesquisa em pequena escala, como na agricultura familiar, promovendo também acessibilidade tecnológica.

Palavras-chave: microcontroladores; *blend*; energias renováveis.

Abstract

This study aimed to analyze anaerobic biodigestion of an organic substrates' blend and lignocellulosic biomass stabilization with lactic acid bacteria addition, in a prototype bench top bioreactor developed with microcontrollers to monitoring biodigestion important aspects, such as temperature, humidity and CO₂ presence, information transcribed into codes to create graphics. Thinking collectively about a sustainable present and future, alternatives that collaborates to environmental preservation are further researched and developed in an ecologically prosperous and constantly evolving panorama. Renewable energies join a new space of global energy prospecting in an effective and intelligent way through new projects for the preservation of natural resources, too scarce, which directly contributes to Sustainable Development, as they add to the economy, society, and the environment. The production of biogas and biofertilizers as an alternative in the generation of energy and income through the biodigestion of organic waste in digesters shows satisfactory results, especially in small-scale research projects, such as in family farming, also promoting technological accessibility.

Keywords: microcontrollers; blend; renewable energy.

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo analizar la biodigestión anaeróbica de una mezcla de sustratos orgánicos y la estabilización de la biomasa lignocelulósica con adición de bacterias ácido-láticas, en un prototipo de

¹ Graduanda de Tecnologia em Processos Químicos – Uninter. E-mail: karin.silveira11@gmail.com

² Orientador – Centro Politécnico Uninter. E-mail: marcos.p@uninter.com

biorreactor de banco didáctico desarrollado con microcontroladores, con el fin de monitorear aspectos importantes de la biodigestión, como temperatura, humedad y presencia de CO₂, informaciones trascritas en códigos que generan gráficos. Pensando colectivamente en un presente y en un futuro sostenibles, alternativas que contribuyan para la preservación del medio ambiente son estudiadas y desarrolladas en un panorama ecológicamente próspero y en constante evolución. Las energías renovables se suman a un nuevo espacio de prospección energética global de forma eficiente e inteligente, por medio de nuevos proyectos para la preservación de recursos naturales, demasiado escasos, que contribuyen directamente al Desarrollo Sostenible, puesto que aportan a la economía, a la sociedad y al medio ambiente. La producción de biogás y biofertilizantes como alternativa en la generación de energía y renta a través de la biodigestión de residuos orgánicos en biodigestores ha mostrado resultados satisfactorios, principalmente en proyectos de investigación en pequeña escala, como en la agricultura familiar, fomentando también la accesibilidad tecnológica.

Palabras-clave: microcontroladores; mezcla; energías renovables.

1 Introdução

Por conta da preocupação mundial em preservar os recursos naturais, presentemente e para as futuras gerações, elaborou-se, em setembro de 2015, a Agenda 2030, a qual abrange diferentes aspectos do desenvolvimento social, econômico e ambiental, como preceptora dos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), entre quais 16 temáticos e um sobre as parcerias e meios para implementação, subdivididos em 169 metas e 321 indicadores.

Considerado um guia para os países comprometidos com medidas audaciosas de inovação e transformação, o intuito da agenda é, até 2030, erradicar a pobreza, proteger o meio ambiente e garantir dignidade/qualidade de vida a todas as classes de uma sociedade. Entre os 17 objetivos, destaca-se o ODS7¹, “Energia Acessível e Limpa”, que assegura o alcance sustentável, confiável e tecnológico, com um preço acessível a todos. As energias renováveis aderem a um novo espaço de prospecção energética global de maneira eficaz e inteligente, desenvolvem e aprimoram novos projetos para a preservação dos recursos naturais já demasiadamente escassos².

Este ensaio objetivou a prototipagem de um biodigestor inteligente com materiais reutilizáveis e monetariamente acessíveis, e através da coleta de dados por sensores eletrônicos, como temperatura e umidade, CO₂, e, posteriormente, biometano advindo da co-digestão de biomassa lignocelulósica, composta de borra de café, ácido cítrico, soro de leite e bactérias ácido-láticas. O equipamento deveria aperfeiçoar a biodigestão anaeróbia, na tentativa de controlar o processo até a obtenção de um resultado satisfatório. Buscou efetivamente comprovar a eficácia da geração de biometano e biofertilizantes, através da biodigestão anaeróbia do *blend* dos substratos lignocelulósicos, monitorados por microcontroladores (placa de prototipagem eletrônica).

¹ Disponível em: <http://www.agenda2030.com.br/ods/7/>. Acesso em: 17 abr. 2023.

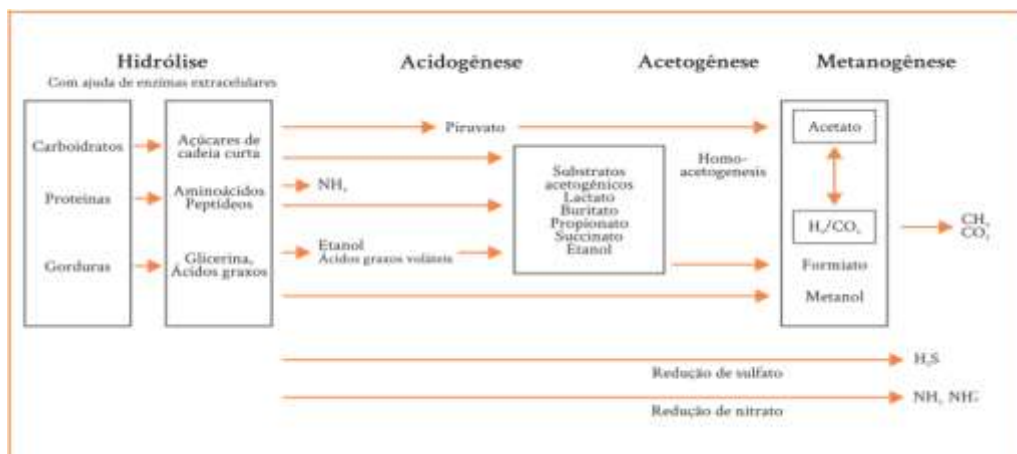
² Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/home/agenda>. Acesso em: 17 abr. 2023.

2 Fundamentação Teórica

A produção de biogás através da biodigestão anaeróbia — como alternativa biotecnológica para geração de energia elétrica e térmica, bem como de biofertilizantes para uma futura substituição dos fertilizantes químicos utilizados indiscriminadamente na agricultura moderna (os quais ocasionam infertilidade e degradação dos solos) —, além da destinação e transformação sustentável de resíduos orgânicos, contribui significativamente ao Desenvolvimento Sustentável, pois agregam os três pilares que o constituem: o desenvolvimento econômico, social e a proteção ambiental. Para a biodigestão da matéria orgânica e posterior geração de biogás e biofertilizantes, utilizam-se Biodigestores Anaeróbios, tecnologia que busca acelerar e potencializar a decomposição da matéria orgânica, a fim de obter de maneira totalmente ecológica produtos que favoreçam e respeitem o ciclo natural de recomposição do meio ambiente e ao mesmo tempo agregue benefícios aos seus usuários, como a autossustentabilidade energética e o acesso a tecnologias modernas (BIOGÁS..., 2020).

A biodigestão anaeróbia é um processo microbiológico interdependente, portanto, depende exclusivamente da operação conjunta de micro-organismos que atuam na transformação da matéria orgânica em dióxido de carbono e metano, sendo a transformação subdividida em quatro fases, sucessivamente: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Portanto, cada grupo atua em uma fase do processo da biodigestão anaeróbia. As bactérias hidrolíticas presentes na fase de hidrólise do substrato contribuem, devido ao consumo de hidrogênio, também chamado processo de hidrogenação, para um ambiente anaeróbio, e conseqüentemente, para a segunda etapa do processo, a acidogênese (MACHADO, 2016, p. 27). Nesta etapa ocorre a fermentação do substrato hidrolisado. “Os componentes menores derivados da ruptura de moléculas grandes na hidrólise, continuam a ser quebrados em moléculas sempre menores” (KARLSSON *et al.*, 2014). Sua caracterização é dada pela decomposição dos substratos orgânicos simples, ou seja, através de enzimas hidrolíticas extracelulares. Os carboidratos se transformam em açúcares de cadeia curta; as proteínas se transformam em aminoácidos peptídeos; e ocorre a quebra da gordura em glicerina e ácidos graxos. (KARLSSON *et al.*, 2014).

Figura 1: processos de hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese



Fonte: EMBRAPA, 2019

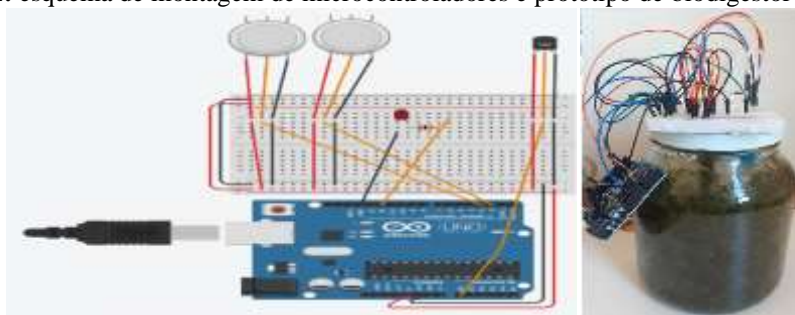
Resulta desse processo o biogás para geração de energia elétrica e térmica, e biofertilizantes, produtos que contribuem diretamente para a preservação ambiental e geração de renda, principalmente para as famílias das regiões rurais.

Figura 1.1: microcontroladores Dht22; Mq135 e placa Arduino Uno



Fonte: retirado de websites.

Figura 1.2: esquema de montagem de microcontroladores e protótipo de biodigestor anaeróbico



Fonte: a autora.

3 Metodologia

Dividido em três etapas, por meio de estudos qualiquantitativos, desenvolveu-se um protótipo de biodigestor inteligente de bancada, com monitoramento do processo de biodigestão anaeróbica de biomassa lignocelulósica estabilizadas com bactérias ácido-láticas (BAL), através de microcontroladores eletrônicos que salvam os dados da análise em nuvem. Para a etapa de elaboração do protótipo, utilizara-se os seguintes materiais: pote de vidro de 2,3 litros com

tampa; mangueira de silicone de 6 e 8 mm; abraçadeiras de *nylon*; vacuômetro com manômetro; cola vinílica; cola de silicone acético.

Figura 1.3: protótipo com vacuômetro e protótipo em funcionamento



Fonte: a autora.

Na etapa seguinte, elaborou-se um *blend* de biomassa lignocelulósica com as seguintes características: 230 g de capim-elefante triturado; 70 g de borra de café robusta; 40 ml de ácido cítrico incorporados a 1 litro de leite pasteurizado para obtenção do soro do leite; 100 ml de soro de leite; pacote de 400 mg de bactérias ácido-láticas, totalizando 400 g de biomassa. Também nessa etapa foi calculada a carga orgânica volumétrica ($COV = 5,767 \text{MgSv.m}^3.\text{d}^{-1}$), o tempo de retenção hidráulico (TRH) do processo (30 dias), e o pH, com valor 6,5, analisado por cromatografia em papel.

As bactérias ácido-láticas (BAL) são muito versáteis, pois podem ser anaeróbias, aeróbias, facultativas e microaerófilas (se desenvolvem em meios com quantidade de oxigênio bastante reduzida). As BAL são largamente utilizadas na indústria alimentícia como probiótico em alimentos, por exemplo, beneficiando à saúde humana. São utilizadas na otimização da vida útil de alguns alimentos e produtos cosméticos, atuando na diminuição do pH do meio, além de como bactérias fermentativas, para saborizar e aromatizar queijos e derivados lácteos, pesquisadas e aplicadas na alimentação animal.

Figura 1.4: capim-elefante triturado e ácido cítrico



Fonte: a autora.

Figura 1.5: bactérias ácido-láticas e análise de pH



Fonte: a autora.

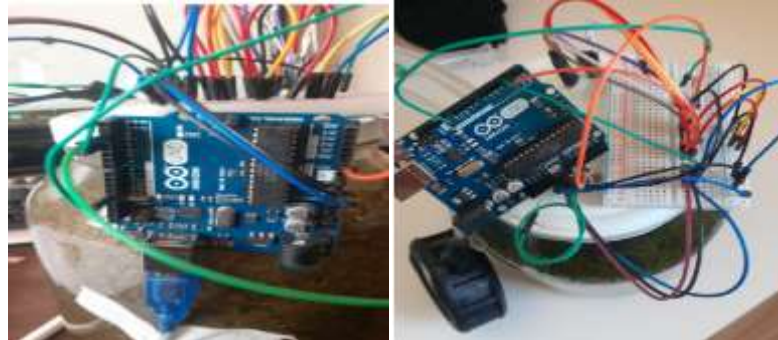
A terceira etapa corresponde à montagem dos microcontroladores por meio da tecnologia Arduino³, que é basicamente uma plataforma de desenvolvimento de códigos abertos ou códigos-fonte, totalmente aberta ao público, ou seja, os usuários podem modificar e distribuir esses códigos, assim como adaptá-los a determinados propósitos, a depender de cada projeto/pesquisa. A plataforma é composta por uma placa com microcontroladores e um IDE (*Integrated Development Environment*, ou “ambiente de desenvolvimento integrado”), que permite programar determinado microcontrolador utilizando linguagem de programação padronizada de alto nível, ao mesmo tempo que acessível para iniciantes e demais usuários. A própria plataforma fornece tutoriais e diversas bibliotecas com códigos, que demonstram inúmeras funcionalidades da placa Arduino e os diversos microcontroladores existentes, proporcionando o desenvolvimento de projetos em diferentes áreas do conhecimento.

Para a montagem do protótipo com a tecnologia Arduino foram utilizados os seguintes materiais: sensor de temperatura e umidade (Dht22); sensor de controle de qualidade do ar (MQ135); sensor de gás metano (MQ4); placa Arduino (Uno R3); *jumpers* de conexão M/F e M/M; *protoboard* de 400 pontos; resistores de 220 ohms; *leds* coloridos de 5 mm; cabo de

³ Disponível em: <https://www.arduino.cc/>. Acesso em: 17 abr. 2023.

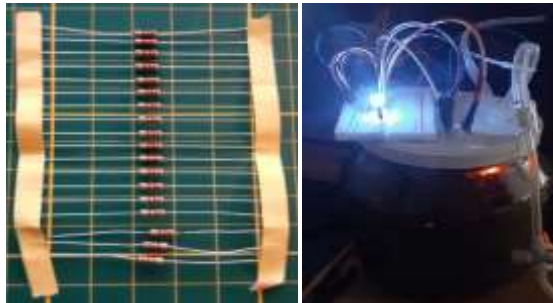
alimentação/dados para monitoramento dos níveis de temperatura e umidade, assim como o acúmulo de CO₂ provenientes da biodigestão anaeróbia das bactérias ácido-láticas, e a posterior detecção de biometano na fase metanogênica, com coleta diária de dados durante 17 dias.

Figura 1.6: instalação dos microcontroladores à *proto*board



Fonte: a autora.

Figura 1.7: resistores e microcontroladores em funcionamento



Fonte: a autora.

4 Resultados e discussões

Demonstrou-se o funcionamento dos microcontroladores para coleta de dados, como temperatura e umidade, durante o processo de biodigestão. Elaborou-se um gráfico de variação de temperatura e umidade.

Por se tratar de um protótipo de biodigestor em batelada, a biomassa lignocelulósica, por sua vez, contém alto grau de lignina (material que reveste sua estrutura). Mesmo quando pré-tratada mecanicamente através da trituração, necessita de um TRH maior para sua biodegradação e posterior geração de biometano. A exemplo, o estudo sobre o pré-tratamento de resíduos lignocelulósicos do Departamento de Química da Universidade Federal de Maringá observou que uma maior digestibilidade da biomassa lignocelulósica requer aumento de sua área superficial, a fim de melhorar a degradação da celulose, através de enzimas e microrganismos que agem em sua superfície.

A utilização de bactérias ácido-láticas se provou de extrema eficácia para a estabilização da biomassa. Ao fim de 35 dias, o protótipo foi aberto e o digestato líquido foi extraído (cerca de 150ml) através de uma bomba de vácuo e sequencialmente analisado através de cromatografia líquida. Constatou-se a presença de glucose decorrente da quebra de açúcares simples da celulose, e ácidos carboxílicos como o ácido fórmico, acético, além de ácido propanoico e etanol.

O aroma do substrato foi predominantemente adocicado, com presença de ésteres de acetato (reação entre os ácidos carboxílicos e o álcool). Não foi constatada a presença de ácido butírico (odor desagradável) tão comumente encontrado na biodigestão da matéria orgânica, o que permite ampliar a manipulação e o manejo da biodigestão anaeróbia, a fim de tornar essa tecnologia mais atrativa a investimentos em diferentes áreas, inclusive ao setor industrial.

Figura 1.8: substrato resultante da biodigestão e extração por bomba vácuo



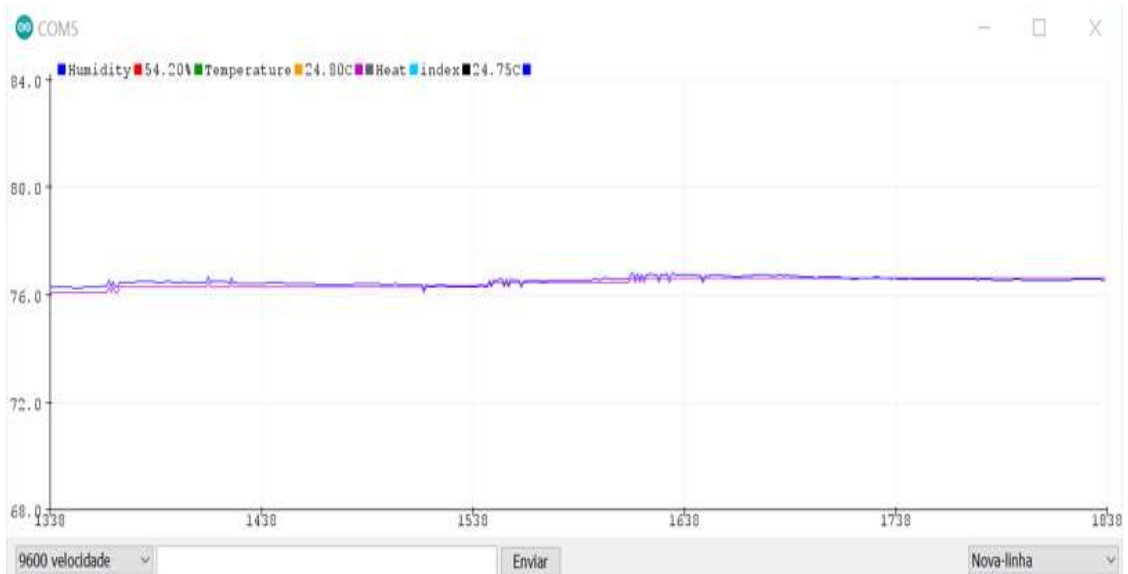
Fonte: a autora.

Tabela 1: concentração em g/L de ácidos, glucose e etanol ao final do ensaio de biodigestão em protótipo de biorreator de bancada.

Glucose	Ácido Lático	Ácido Fórmico	Ácido Acético	Ácido Propiônico	Etanol
0,04	9,97	3,02	3,52	0,08	7,62

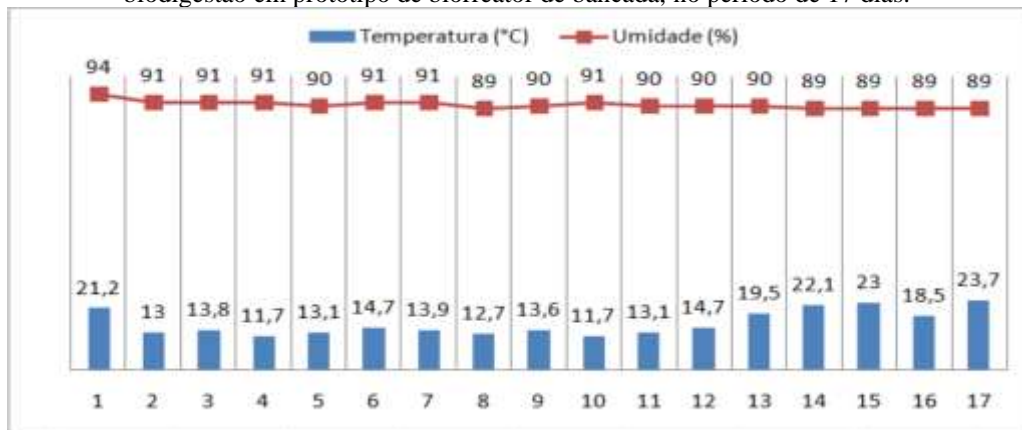
Fonte: a autora.

Figura 1.9: gráfico de detecção de temperatura e umidade pelo sensor Dht22 do *blend* de matéria orgânica, durante o ensaio de biodigestão em protótipo de biorreator de bancada.



Fonte: a autora.

Figura 2: gráfico de variação de temperatura e umidade do blend de matéria orgânica durante o ensaio de biodigestão em protótipo de biorreator de bancada, no período de 17 dias.



Fonte: a autora.

Figura 2.1: coleta de dados e detecção de CO₂ (com ruído) pelo sensor de qualidade do ar MQ135



Fonte: a autora.

5 Considerações finais

A implantação de um biodigestor inteligente que facilite a acessibilidade à tecnologia e renda para a agricultura familiar foi o objeto deste estudo, como protótipo de um futuro promissor. Por meio de pesquisa e coleta de dados foi possível demonstrar um grande potencial em informações e monitoramento que interferem diretamente na biodigestão anaeróbia, fundamental à posterior geração de biometano. O uso de microcontroladores para biodigestores em pequena escala necessita de estudo aprofundado e pesquisas, de modo que se desenvolva e implante em escalas maiores, como nos setores industrial e urbano.

Com este estudo foi possível demonstrar o funcionamento dos microcontroladores para coleta, monitoramento e armazenamento de dados da biodigestão. A utilização de matéria orgânica lignocelulósica como fonte principal na geração de biometano necessita também de pesquisa aprofundada, devido ao revestimento com alto grau de lignina, principalmente em relação ao pré-tratamento, ferramenta fundamental para otimização da degradação da biomassa, assim como a utilização de bactérias ácido-láticas para a estabilização do substrato, além de se provar eficaz na destinação correta e ambientalmente sustentável dos resíduos orgânicos.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Renovabio**. Rio de Janeiro: SBQ, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio>. Acesso em: 29 maio 2021.

BIENVENIDO a Wikibiogás. El WikiBiogás. 2020. Disponível em: https://wikibiogas.org/index.php/P%c3%a1gina_principal Acesso em: 20 jun. 2021.

BIOGÁS no Brasil, história e perspectiva de futuro. CIBiogás, 2020. Blog do biogás. Disponível em: <https://cibiogas.org/blog-post/biogas-no-brasil-historia-e-perspectiva-de-futuro/>. Acesso em: 20 jun. 2021.

BIOGÁS: o que é e como ele é transformado em energia. Ecycle, [S. l.], 2021. Biogestão. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/2972-biogas.html>. Acesso em: 21 jun. 2021.

BRUNO, Laura Maria. **Manual de Curadores de Germoplasma – micro-organismos: Bactérias Àcido-Láticas**. Brasília: EMBRAPA, 2011.

CAPRA, Fritjof. **O Ponto de Mutação**. São Paulo: Cultrix, 1982.

GOMES SIMÕES, André Luis *et al.* Pré-tratamento de resíduos lignocelulosicos para otimização da produção de biogás. *In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SUSTENTABILIDADE*, 3., 2020, Gramado. **Anais [...]**. ConReSol: Gramado, 2020.

KARLSON, T. *et al.* **Manual Básico de Biogás**. 1. ed. Lajeado: Editora da Univates, 2014.

KRETZER, S. G. *et al.* Produção de Biogás com diferentes resíduos orgânicos de restaurante Universitário. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Curitiba, v. 5, n. 4, p. 551-565, 2016.

LEONARD, Annie. **A história das coisas**: da natureza ao lixo, o que acontece com tudo que consumimos. 1. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2011.

MACHADO, Gleysson. Geração e Aproveitamento Energético do Biogás: Projeto Probiogás. **Portal de Resíduos Sólidos**. 2013. *E-book*. Disponível em: <https://www.portalresiduossolidos.com>. Acesso em: 17 abr. 2023.

MORAIS VIDAL, Thais Cristina **Geração de biogás a partir de resíduos das agroindústrias de banana e palmito pupunha**. 2014. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) — Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2014.

RODA VIVA — FRITJOF CAPRA. [*S. l.: s. n.*]. 2006. 1 vídeo (1h12min). Publicado pelo canal Roda Viva. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ta3fHs9NRoo&t=513s>. Acesso em: 20 jun. 2021.

RUIZ, H. A.; ROMANÍ, A.; MICHELIN, M.; TEIXEIRA, J. A. A importância do pré-tratamento no conceito das biorrefinarias. **Boletim de Biotecnologia**, Lisboa, v. 2, n. 3, p. 3-6, 2013.

TSCHOEKE, I. C. P. *et al.* Sistema de controle automático para biodigestor. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 2016, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: COBEQ, 2016. v. 1.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE (WWF). **O que é o Desenvolvimento Sustentável?** [*S. n.*]: WWF, 200? Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/desenvolvimento_sustentavel/ Acesso em: 20 maio 2021.