



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PETRÓLEO

**Produção de Biogás a partir de resíduos orgânicos visando aplicação
em aquecimento e cocção de alimentos em substituição ao gás natural**

Kervyson Cavalcante Matias

Fevereiro, 2022

NATAL/RN

Kervyson Cavalcante Matias

Produção de Biogás a partir de resíduos orgânicos visando aplicação em aquecimento e cocção de alimentos em substituição ao gás natural

Trabalho apresentado ao Curso de
Engenharia de Petróleo da
Universidade Federal do Rio Grande
do Norte como requisito parcial para
a obtenção do título de Engenheiro
de Petróleo.

Orientador: prof. Lindemberg de Jesus Nogueira Duarte

Fevereiro, 2022

NATAL/RN

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

Sistema de Bibliotecas - SISBI

Catálogo de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Matias, Kervyson Cavalcante.

Produção de Biogás a partir de resíduos orgânicos visando aplicação em aquecimento e cocção de alimentos em substituição ao gás natural / Kervyson Cavalcante Matias. - 2022.

38f.: il.

Monografia (Graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de tecnologia, Graduação em Engenharia do Petróleo, Natal, 2022. Orientador: Dr. Lindemberg de Jesus Nogueira Duarte.

1. Biogás - Monografia. 2. Biodigestor - Monografia. 3. Digestão anaeróbica - Monografia. 4. Biomassa - Monografia. I. Duarte, Lindemberg de Jesus Nogueira. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 662.767.2

Elaborado por Raimundo Muniz de Oliveira - CRB-15/429

Orientador: Prof. Lindemberg de Jesus Nogueira Duarte

Produção de Biogás a partir de resíduos orgânicos visando aplicação em aquecimento e cocção de alimentos em substituição ao gás natural

Natal, 11 de fevereiro de 2022

O aluno **Kervyson Cavalcante Matias** foi considerado aprovado no seu trabalho de conclusão para obtenção do título de **Formação em Engenharia de Petróleo**.

Banca examinadora formada por:

Prof. Dr. Lindemberg de Jesus Nogueira Duarte

Orientador (a) - UFRN

Prof. Msc. Leonardo Asfora de Oliveira

Membro examinador - UFRN

Msc. Elayne Andrade Araújo

Co- orientadora – UFRN

Engenheira Rafaela Brenda de Souza Alves

Membro examinadora – UFRN

***(ESTA PÁGINA DEVERÁ SER DIGITALIZADA APÓS A ASSINATURA.
E A ORIGINAL DEVERÁ SER DEIXADA NA COORDENAÇÃO DO CURSO)***

MATIAS, Kervyson Cavalcante. Produção de Biogás a partir de resíduos orgânicos visando aplicação aquecimento e cocção de alimentos em substituição ao gás natural.2021.2 TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, 2021.

Palavras-Chaves: Biogás, Biodigestor, Biomassa, Digestão anaeróbica.

Orientador: Prof. Dr. Lindemberg de Jesus Nogueira Duarte

RESUMO

Devido aos problemas associados a crise energética e a questões ambientais, atualmente é evidente a necessidade por novas fontes de energias renováveis. Neste contexto, uma delas é o biogás, que vem ganhando notoriedade e apresenta boas perspectivas de futuro. O biogás é um biocombustível produzido através da fermentação anaeróbica da matéria orgânica, podendo posteriormente ser convertido em energia térmica ou elétrica. Neste estudo, o biogás foi produzido a partir da matéria orgânica obtida através de parcerias com redes de supermercados e redes de restaurantes. O desenvolvimento deste trabalho teve como objetivo realizar um estudo sobre a produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando um biodigestor confeccionado. Além disso, realizou-se estudo preliminar sobre a implementação de uma usina de biogás utilizando os resíduos provenientes do Restaurante Universitário da UFRN, transformando um passivo ambiental em um ativo energético.

MATIAS, Kervyson Cavalcante. Produção de Biogás a partir de resíduos orgânicos visando aplicação aquecimento e cocção de alimentos em substituição ao gás natural.2021.2 TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, 2021.

Keywords: Biogas, Biodigester, Biomass, Anaerobic digestion.

Tutor: Prof^ª. Dr^ª.Lindemberg de Jesus Nogueira Duarte

ABSTRACT

Due to the problems associated with the energy crisis and environmental issues, the need for new sources of renewable energy is currently evident. In this context, one of them is biogas, which has been gaining notoriety and has good prospects for the future. Biogas is a biofuel produced through the anaerobic fermentation of organic matter, which can later be converted into thermal or electrical energy. In this study, biogas was produced from organic matter obtained through partnerships with supermarket chains and restaurant chains. The development of this work aimed to carry out a study on the production of biogas from organic waste using a manufactured biodigester. In addition, a preliminary study was carried out on the implementation of a biogas plant using waste from the University Restaurant of UFRN, transforming an environmental liability into an energy asset.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe,
Por todo apoio e incentivo
em toda minha vida.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus por esta conquista, sempre me ajudando na minha vida.

Agradeço imensamente a minha rainha por todos ensinamentos e por tudo que fizeste em minha vida, sem a senhora nada disso seria possível. Dedico essa vitória a senhora minha mãe.

Venho agradecer a meu irmão, meu pai, minha namorada por todo apoio, carinho e incentivo nessa minha jornada que me fez conquistar mais essa vitória em minha vida.

Tenho uma enorme gratidão a minha família, meus tios(a), primos, madrinhas por todo apoio, incentivo em toda minha vida, vocês fazem parte mais dessa conquista em minha vida.

Aos meus amigos que me apoiam e torcem pelo o meu sucesso e que sempre se fazem presente em qualquer momento sejam Bons ou ruins.

Quero agradecer ao professor Lindemberg, Elayne, Rafaela, Leonardo e ao mestre Paulino por todo aprendizado e ajuda durante o TCC.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos específicos	15
3 ASPECTOS TEÓRICOS	15
3.2 Tipos de Biodigestores.....	16
3.2.1 Modelo indiano.....	16
3.2.2 Modelo chinês.....	17
3.2.3 Modelo canadense.....	18
3.3 Fermentação (digestão anaeróbica)	18
3.3.1 Hidrólise	19
3.3.2 Acidogênese	20
3.3.3 Acetogênese.....	21
3.3.4 Metanogênese	21
3.4 Fatores que influenciam na digestão anaeróbica	22
3.4.1 Temperatura.....	22
3.4.2 Nutrientes	22
3.4.3 pH.....	23
3.4.4 Tempo de retenção.....	23
3.5 Biomassa	23
3.6 Biogás	24
4 MATERIAIS E MÉTODOS	24

4.1 Coleta e preparo da matéria orgânica	24
4.1.1 Trituração dos resíduos orgânicos	25
4.2. Teor de sólidos e cinzas	27
4.3 Construção e operação do biodigestor	27
4.4 Potencialidades para produção de biogás.....	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
5.1 Teor de sólidos	29
5.2 Construção e operação do biodigestor	29
5.3 Potencialidades da região para produção de biogás	31
5.3.1 Proposta de projeto para Restaurante Universitário	32
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Princípio de funcionamento de uma usina de Biogás.....	16
Figura 2: Esquema de funcionamento biodigestor modelo indiano	17
Figura 3: Esquema de funcionamento biodigestor modelo Chinês	18
Figura 4: Balanço da digestão anaeróbia da matéria orgânica.....	19
Figura 5: Reação de hidrólise de uma proteína.....	20
Figura 6: Tipos de Biomassa.....	25
Figura 7: Trituração da matéria orgânica.....	26
Figura 8: Biodigestor.....	30
Figura 9: Homebiogas 2.0.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados do Teor de sólidos e cinzas	29
Tabela 2: Supervisão de pressão.....	31
Tabela 3: Quantidade de resíduos gerados.....	32

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o Brasil vive uma crise energética associada à falta de chuvas em diversas regiões do país, colocando em evidência as fragilidades da matriz energética nacional, que é baseada majoritariamente na energia hidrelétrica. No âmbito mundial, observa-se um movimento de substituição de combustíveis fósseis para energias renováveis, devido aos efeitos adversos associados ao aquecimento global.

Vários países, principalmente aqueles que fazem parte da União Europeia, vislumbram o encerramento da era dos combustíveis fósseis em 2050 (EL PAÍS, 2018). De fato, alguns países já estão proibindo e impondo entraves à produção e exploração de novas reservas de petróleo. No Brasil, o uso de energias renováveis (eólica, solar, biomassa e etanol) vem crescendo ano após ano.

Nesse contexto, foi analisada a produção do biogás como combustível e geração de energia através de biodigestores. A matéria prima utilizada é a biomassa, composta por matéria orgânica de origem vegetal ou animal, onde alguns exemplos são: bagaço da cana de açúcar, resto de comidas, dejetos de animais, entre outros. Para Amaral et al. (2004), a fermentação da biomassa nos reatores anaeróbios se apresenta como uma ótima alternativa, pois reduz a taxa de contaminação e poluição, produzindo o biogás, que é uma fonte de energia térmica, elétrica e mecânica; além disso, o resíduo obtido no final do processo pode ainda ser utilizado como biofertilizantes.

Vale ressaltar que uma das vantagens da produção de biogás é o reaproveitamento de resíduos de difícil destinação, por exemplo: fezes de animais, restos de comidas, entre outras coisas. A partir do uso de biodigestores, onde se coloca a matéria orgânica e ocorre a digestão anaeróbica da biomassa, produz-se o biogás. A produção de biogás é uma das soluções energéticas mais promissoras devido à diminuição da emissão de dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4) na atmosfera, sendo uma fonte renovável que gera energia, combustíveis, gás de cozinha e biofertilizantes.

Assim, propõe-se a construção de um biodigestor para a produção do biogás, tendo como matéria prima resíduos orgânicos provenientes de parcerias estabelecidas durante o projeto. Também serão realizados levantamentos a fim de identificar possíveis fontes

de matérias orgânicas no Rio Grande do Norte para produção de Biogás. O Restaurante Universitário (RU) do campus Central da Universidade do Rio Grande do Norte também foi identificado como um gerador de resíduos orgânicos com potencial de produção do biogás. Assim, a partir dos dados obtidos no levantamento, será possível fazer uma sugestão de projeto para ser aplicado no RU.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal é construir um biodigestor e produzir biogás a partir da matéria orgânica coletada em redes de supermercados e restaurantes, além de realizar levantamentos de dados a fim de identificar potenciais fontes geradoras de resíduos que possam ser utilizados na produção de biogás. Também se tem como objetivo propor um projeto de geração de biogás a partir dos resíduos do restaurante universitário da UFRN.

2.2 Objetivos específicos

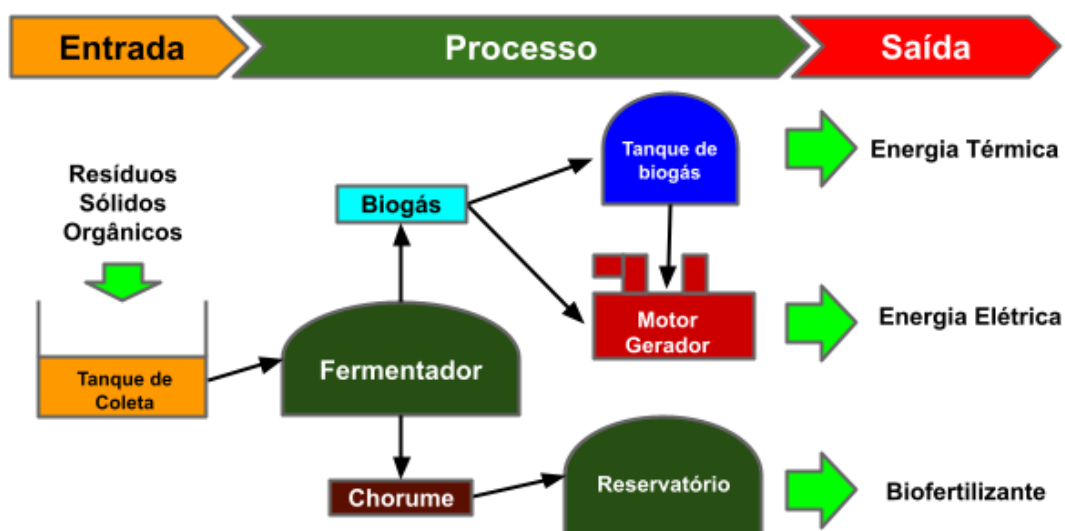
- Identificar potenciais fontes de resíduos orgânicos (substrato) em Natal-RN;
- Projetar e construir um protótipo de biodigestor para a produção de biogás;
- Coletar matéria orgânica em redes de restaurantes e supermercados para a produção de biogás;
- Realizar um pré-tratamento nos resíduos orgânicos a fim de otimizar a produção de biogás;
- Propor um projeto para o Restaurante Universitário;
- Produzir e coletar o biogás.

3 ASPECTOS TEÓRICOS

3.1 Biodigestores

O biodigestor é um equipamento fechado e impermeável onde ocorre a decomposição da matéria orgânica através da digestão anaeróbica (fermentação). A Figura 1 ilustra o princípio de funcionamento de uma usina de biogás:

Figura 1: Princípio de funcionamento de uma usina de Biogás



Fonte: Portal do Biogás, 2021.

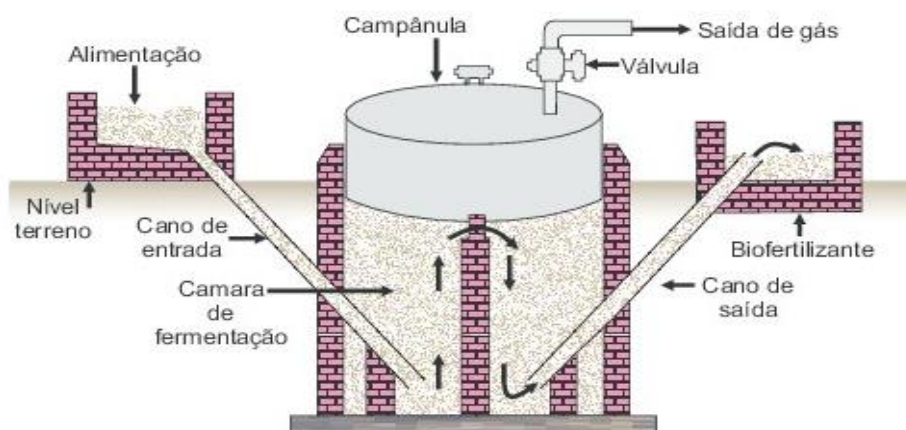
3.2 Tipos de Biodigestores

Existem dois tipos de biodigestores: o de batelada e o contínuo. No primeiro caso, a biomassa é inserida periodicamente no biodigestor, e a produção da biomassa ocorre de modo intermitente. Geralmente, estes equipamentos são compostos por uma câmara de biodigestão (feita de alvenaria) e de um medidor de gás (gasômetro). Já no biodigestor contínuo, o equipamento é alimentado diariamente por meio de dutos de alimentação. Neste caso, a biomassa deve ser de fácil decomposição, e recomenda-se triturá-la para evitar a formação de crostas na parte interna do equipamento. A seguir, serão discutidos os três modelos de biodigestores contínuos mais comumente utilizados: o modelo indiano, chinês e canadense.

3.2.1 Modelo indiano

O modelo é composto por uma campânula móvel, que é um medidor de gás. Ela pode ficar mergulhada na biomassa, sendo também responsável pelo sistema de manutenção de pressão interna: quando o biogás não é consumido ela se expande. Existe uma parede no meio para dividir o tanque do biodigestor em duas câmaras. O gasômetro é feito de metal e encarece o equipamento. A vantagem do biodigestor indiano é sua fácil construção. O abastecimento é contínuo desse modelo, e sua matéria orgânica (substrato) é permitido no máximo 8% do teor de sólidos para evitar entupimentos e outros problemas devido ao acúmulo de sólidos (DEGANUTTI et al, 2002).

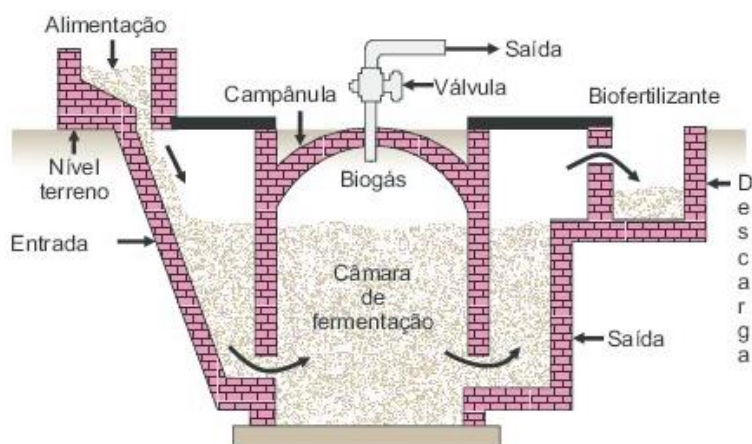
Figura 2: Esquema de funcionamento biodigestor modelo indiano



Fonte: FONSECA et al, 2009.

3.2.2 Modelo chinês

Este modelo foi baseado no biodigestor indiano, possuindo algumas mudanças. A principal delas é que não utiliza a campânula de metal, sendo assim o sistema é quase todo construído em alvenaria. O modelo chinês tem o funcionamento similar a uma prensa hidráulica, elevando a pressão em seu interior, o que acarreta no deslocamento da câmara de fermentação para caixa de saída. Neste modelo, é preciso tomar cuidado com a vedação do sistema para não ocorrer vazamento, e não é indicado para ser utilizado em instalações de grande porte.

Figura 3: Esquema de funcionamento biodigestor modelo Chinês

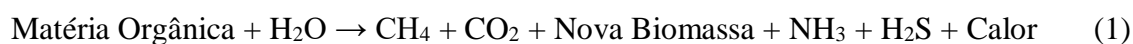
Fonte: FONSECA et al, 2009

3.2.3 Modelo canadense

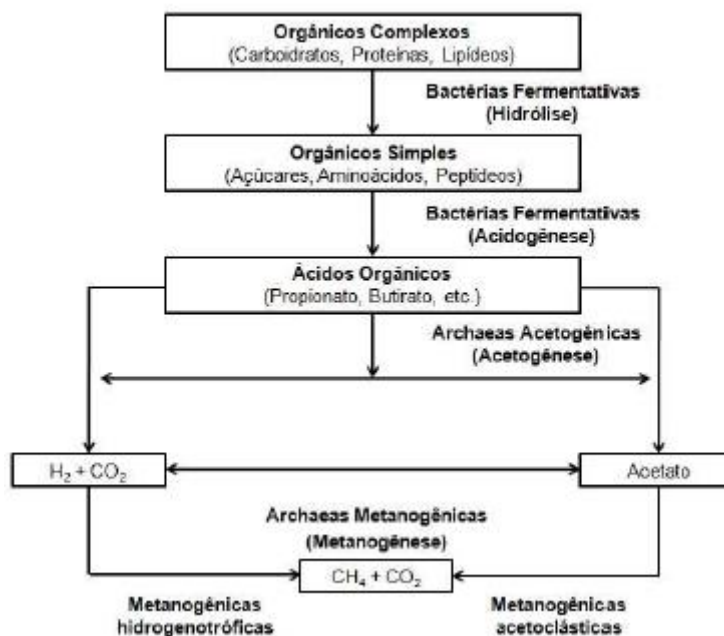
É um modelo tecnológico moderno, de construção simples, construído de material plástico. É um sistema horizontal onde a caixa horizontal é feita em alvenaria. Por ser na horizontal e a caixa profunda, existe muita exposição ao calor do sol, consequentemente isso aumenta a produção de biogás e diminui o risco de entupimento.

3.3 Fermentação (digestão anaeróbica)

A digestão anaeróbica é um processo natural de decomposição da matéria orgânica, por meios de bactérias na ausência de oxigênio, levando à produção de metano, biofertilizantes e produtos inorgânicos (dióxido de carbono). A reação química que rege este processo é dada por Kelleher et al. (2002):



A degradação anaeróbica é um processo biológico que ocorre basicamente em quatro etapas que são: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. A Figura 4 ilustra estas quatro etapas:

Figura 4: Balanço da digestão anaeróbia da matéria orgânica

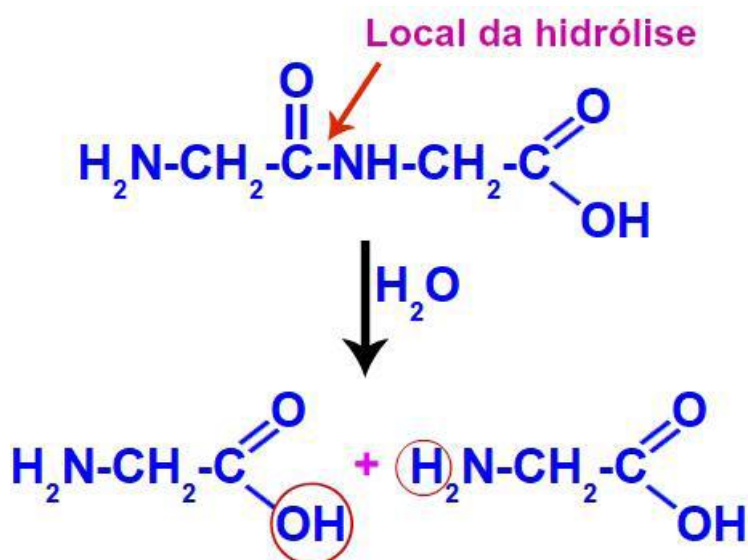
Fonte: Chernicharo (2007).

3.3.1 Hidrólise

A hidrólise é a primeira etapa da digestão anaeróbica, onde as enzimas extracelulares são secretadas pelas bactérias hidrolíticas. As cadeias mais complexas compostas por carboidratos, proteínas e lipídios são quebradas em pequenos pedaços mais solúveis (açúcares, aminoácidos, ácidos graxos) para que os micro-organismos possam assimilar (FARIA, 2012; SALOMON, 2007). Os principais fatores que atrasam esta etapa são: pH, temperatura, tempo de retenção e distribuição das partículas (FARIA, 2012). Entretanto, segundo Monnet (2003), o processo pode ser acelerado através da adição de compostos químicos que oferecem um maior rendimento na produção de metano. Alguns gêneros de bactérias hidrolíticas se destacam na digestão anaeróbica, a saber: *Clostridium* sp, *Micrococcus* sp e *Staphylococcus* sp, responsáveis pela produção de lipase para degradação de lípidos e ácidos graxos; *Bacteroides*, *Butyivibrio* sp, *Clostridium*, *Fusobacterium* sp, *Selenomonas* sp, *Streptococcus* sp, *Proteus* sp, *Peptococcus* sp e *Bacillus*, responsáveis pela produção de protease para a degradação de proteínas e aminoácidos; e *Clostridium* sp, *Staphylococcus* sp, *Acetivibrio* sp, *Eubacterium* sp,

responsáveis pela produção de amilases para a degradação de polissacarídeos e açúcares menores.

Figura 5: Reação de hidrólise de uma proteína



Fonte: DIAS (2019).

3.3.2 Acidogênese

Nesta fase, as bactérias fermentativas acidogênicas atuam sobre os compostos intermediários da hidrólise, decompondo-os em ácidos graxos voláteis de cadeia curta, álcool, ácido lático e compostos minerais (ABREU, 2007; BOHRZ, 2010).

A maior parte das bactérias nesta etapa é considerada anaeróbia estrita. Segundo Bohr (2010), cerca de 1% são consideradas bactérias facultativas, isto é, elas podem metabolizar por meio oxidativo, usando o oxigênio molecular como aceptor de elétrons, removendo o oxigênio que está dissolvido no sistema.

Os principais gêneros das bactérias que estão associados à acidogênese são: *Clostridium* sp, *Bacteroides* sp, *Ruminococcus* sp, *Butyribacterium* sp, *Propionibacterium* sp, *Eubacterium* sp, *Lactobacillus* sp, *Streptococcus* sp, *Pseudomonas* sp, *Desulfobacter* sp, *Micrococcus* sp, *Bacillus* sp e *Escherichia* sp (MENDONÇA, 2009).

3.3.3 Acetogênese

As bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação de ácidos orgânicos. Nesta fase, é necessário ter muito cuidado, pois a concentração de hidrogênio precisa ser controlada para manter o equilíbrio do processo.

Os gêneros dos microorganismos acetogênicos que são encontrados nos processos anaeróbios são: *Syntrophobacter sp* e *Syntrophomonas sp* (CHERNICHARO, 2007).

Reação de acetogênese:



3.3.4 Metanogênese

Metanogênese é a última etapa do processo de degradação anaeróbica e responsável pela produção de metano. Segundo Pinheiro (2006), o aproveitamento de substrato (metanol, ácido acético, dióxido de carbono, hidrogênio, monóxido de carbono, metilaminas) das *Archaeas* metanogênicas é limitado. São divididas em dois grupos:

Metanogênicas acetoclásticas: utilizam o acetato como uma fonte de carbono e energia. A redução do ácido acético leva a produção de gás carbônico e metano, sendo responsável por cerca de 60 a 70% de toda produção do metano (MENDONÇA, 2009).

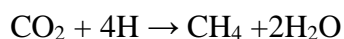
Acetoclásticas:



Os principais gêneros encontrados de Metanogênicas acetoclásticas são: *Methanosarcina sp* e *Methanosaeta sp* (CHERNICHARO, 1997).

Metanogênicas hidrogenotróficas: o gás carbônico é utilizado como acceptor de átomos de hidrogênio, fonte de carbono e também passam atuar como uma fonte de energia (LOUZADA, 2006).

Hidrogenotróficas:



Os principais gêneros encontrados de microrganismos *Metanogênicos sp hidrogenotróficos* sp em reatores anaeróbios são: *Methanobacterium*, *Methanospirillum*, *Methanobrevibacter*, *Methanoculleus* e *Methanocorpusculum* (BITAR, 2003; MORRIS, 2011).

3.4 Fatores que influenciam na digestão anaeróbica

3.4.1 Temperatura

A temperatura afeta diretamente o crescimento das bactérias. Em ambientes de temperatura elevada, a produção do biogás ocorre de forma mais rápida e em maior quantidade. De acordo com Van Haandel e Lettinga (1994), quanto maior a temperatura, mais rápido ocorrem as reações químicas, resultando em uma operação mais eficiente em termos de produção e de redução do tempo de retenção hidráulico. Segundo Speece (1996), observou-se uma queda em torno de 34% das atividades dos microrganismos quando diminuíram 5 °C da temperatura.

Segundo Lettinga et al. (1996), os processos biológicos na sua maioria possuem três faixas de temperatura associadas ao crescimento das bactérias.

De acordo com Chernicharo (1997), os níveis ótimos de temperatura para se utilizar na digestão anaeróbica são de 30 a 35°C (faixa mesófila) e 50 a 55 °C (faixa termófila). Portanto, a maioria dos biodigestores são construídos na faixa mesófila. Segundo Soares (1990), se o processo estiver operando na faixa termófila, pode ocorrer uma maior instabilidade nos parâmetros de controle. Mais especificamente, quando ocorrem variações intensas na temperatura, isto pode causar danos no processo.

3.4.2 Nutrientes

É imprescindível que a concentração de macro e micronutrientes esteja de forma adequada para que os processos de tratamento dos efluentes sejam realizados com eficácia (BOHRZ, 2010).

Os nutrientes mais essenciais são o fósforo e nitrogênio em qualquer processo biológico, a eficiência dos microrganismos na obtenção da energia vai depender da qualidade da matéria orgânica (LOUZADA, 2006).

Alguns nutrientes como ferro, zinco, cobalto, níquel e cobre estão entre os micronutrientes mais utilizados, pois os mesmos atuam como estimulantes nos processos anaeróbios (SALOMON, 2007; LOUZADA, 2006).

3.4.3 pH

As alterações no pH podem ocasionar problemas que afetam os microrganismos que participam da digestão anaeróbica, como na modificação da sua estrutura, levando à perda de suas características (MEYSTRE, 2007; SALOMON, 2007). De acordo com Weiland (2001), o pH considerado ideal para as bactérias hidrolíticas e acidogênicas desenvolverem suas atribuições é na faixa de 5,2 a 6,3. Já nas últimas fases da digestão anaeróbica, processo realizado pelas bactérias acetogênicas e metanogênicas, é necessário um pH estritamente neutro, na faixa de 6,5 e 8 (LEBUHN et al., 2008).

3.4.4 Tempo de retenção

É o tempo necessário para que haja a produção de biogás, podendo variar entre alguns dias ou horas a depender do biodigestor, tipo de biomassa, entre outros fatores (SALOMON, 2007).

A relação que define o tempo de retenção é o volume da carga (biomassa) e o volume do digestor. O que caracteriza os melhores digestores é a combinação do menor tempo de retenção e a maior decomposição, além de uma seleção adequada dos nutrientes.

3.5 Biomassa

É toda matéria orgânica de origem animal ou vegetal, que pode produzir energia através da decomposição por microrganismos. Esta decomposição da biomassa ocorre através das bactérias metanogênicas na qual a metagênese é a última fase, onde acontece a produção de metano, gerando assim o biogás.

Segundo Seixas et al. (1980), após definir o biodigestor que será usado, deve-se verificar a quantidade de biomassa que está disponível para, desse modo, poder quantificar o rendimento da produção de biogás após a instalação do biodigestor.

De acordo com Oliveira (1994), durante a primeira semana, a quantidade de gás carbônico produzido será maior em relação ao metano, mas ao longo do tempo a produção vai se inverter.

3.6 Biogás

O biogás é produzido a partir da decomposição anaeróbica de materiais orgânicos, segundo Wereko-Brobby & Hagen (2000). A composição do biogás é em média: 60% de CH₄ (metano), 35% de CO₂ (gás carbônico), e os outros 5% são de outros gases como gás sulfídrico, nitrogênio, amônia, monóxido de carbono, oxigênio, entre outros.

De acordo com Oliver et al (2008), o biogás é um combustível e a sua queima é considerada limpa, além de ser uma fonte de energia renovável. A variação do seu poder calorífico se dá entre 500 a 700 kcal/m³.

Comparando 1L de biogás com outras fontes de energia, verifica-se que o biogás é uma fonte viável de energia em relação as fontes mais comuns, uma vez que 1 L de biogás equivale, segundo Oliveira *et. al* (2008):

- 0,61l de gasolina;
- 0,58l de querosene;
- 0,55 litros de óleo Diesel;
- 0,45 litros de gás de cozinha;
- 1,5 quilos de lenha;
- 0,79 litros de álcool.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Coleta e preparo da matéria orgânica

A biomassa utilizada no processo foi obtida através de parcerias estabelecidas com redes de restaurantes e supermercados. Ambos doaram resto de frutas e verduras,

coletadas durante uma semana para serem utilizadas no Biodigestor visando a produção de Biogás.

Figura 6: Tipos de Biomassa



Fonte: O autor (2021).

4.1.1 Trituração dos resíduos orgânicos

A biomassa utilizada, antes de ser levada para o biodigestor, passa por um processo denominado de trituração, cujo objetivo é quebrar moléculas de ácido graxo e açúcares, reduzindo o tempo de produção do biogás. A trituração é realizada com a adição de água, em proporção de 1 para 1.

Figura 7: Trituração da matéria orgânica

Fonte: Autor (2021)

4.1.2 Volume da biomassa

O cálculo do volume da biomassa irá informar o volume que será ocupado no biodigestor. Combinado com algumas análises é possível saber o quanto de biogás foi possível produzir a partir deste volume de biomassa, mas devido a pandemia não foi possível realizar essas análises devido as restrições impostas. Foram utilizados 30 kg de biomassa e 30 litros de água. Na equação 1 tem-se:

$$Vd = \frac{PTM}{\rho a}$$

Onde

Vd equivale ao volume da mistura; PTM equivale à massa total da mistura (kg); e ρa é a densidade da água.

De acordo com a equação 3, obtém-se o seguinte resultado:

$$Vd = \frac{60 \text{ kg}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,060 \text{ m}^3 \quad (3)$$

4.2. Teor de sólidos e cinzas

Para cada tipo de Biomassa (casca de batata, borra do café, casca de maracujá, lama do coco, mix de frutas, mix de verduras e grama), foi obtido o teor de sólidos e cinzas. Foi baseado no padrão ASTM E1756 – 08 (2015) para teor de sólidos totais e ASTM E1755 – 01 (2015) para teor de cinzas.

Para o teor de sólidos, foi medida a massa de cada tipo de matéria orgânica antes de ir para a estufa e o peso do cadinho. Após isso as amostras foram para estufa em 105°C em ciclos alternados de 1 hora e 1,5 hora até a massa se manter constante.

Para o teor de cinzas, foi levada a amostra da estufa a 105 °C para uma mufla a 550 °C durante duas horas.

4.3 Construção e operação do biodigestor

Na montagem do biodigestor foram utilizados: uma bombona, variados tipos de tubos e conexões. Abaixo listam-se todos os materiais utilizados para a construção do biodigestor:

- Bombona de 200 L;
- Tubo de PVC de 50 mm;
- Tubo de PVC de 60 mm;
- Tubo de PVC de 25 mm;
- Registro para tubo de 50 mm;
- Registro para tubo de 60 mm;
- Registro para tubo de 25 mm;
- Flange de 50 mm;
- Flange de 60 mm;

- Joelho de 32 mm;
- Joelho de 50 mm;
- Joelho de 25 mm;
- Cap de 50 mm;
- Cap de 25 mm;
- Cap de 32 mm;
- Cola silicone;
- Cola de cano;
- Tinta;
- Solvente;
- Estrutura de ferro;
- Durepox;
- Manômetro de 0 a 15 psi.

Após a construção e a introdução do volume da biomassa no biodigestor, em um período de 14 dias foi realizado o acompanhamento com relação a evolução na produção de biogás diariamente. Foi notada uma boa produção do biogás durante esse período, com isso foi feita a coleta e o gás coletado foi armazenado em um cilindro.

Após esse período inicial, foi verificada a necessidade de instalar um manômetro, a fim de controlar a pressão do biodigestor. Após esta instalação, a produção de biogás foi monitorada por mais 3 dias.

4.4 Potencialidades para produção de biogás

Foi feita uma pesquisa visando a obtenção de dados de fontes potenciais de resíduos na região de Natal RN. As fontes utilizadas foram baseadas em notícias, textos acadêmicos e sites institucionais. Além disso, foi realizada uma avaliação preliminar sobre os resíduos gerados pelo Restaurante Universitário da UFRN no sentido de reinseri-los em uma nova cadeia de transformação de um passivo ambiental em um ativo energético, baseado na produção de biogás utilizando biodigestores anaeróbicos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Teor de sólidos

Conforme foi apresentado no tópico 4.2, tem-se os seguintes resultados:

Tabela 1: Resultados do Teor de sólidos e cinzas

Tipo de Biomassa	Massa biomassa (g)	Massa cadinho (g)	Massa após secagem a 105 °C (g)	Massa após calcinação a 550 °C (g)	% sólidos totais	% Cinzas
Borra do café	15,00	23,66	28,32	23,77	31,06	2,25
Casca de batata	15,04	22,89	25,84	23,06	19,57	5,68
casca de maracujá	15,04	23,48	25,84	25,10	15,69	68,69
Lama do coco	15,00	24,93	27,84	24,93	19,41	0,00
Gramma, folha	9,24	50,17	52,91	50,30	29,59	4,65
Mix de frutas	9,67	48,21	49,74	48,29	15,78	5,25
Mix de verduras	6,33	52,26	53,40	52,33	18,07	6,74

Fonte: O autor (2022).

Observa-se que a borra do café e o resto de grammas e folhas foram os que tiveram o maior teor de sólidos em relação aos demais. Em relação ao teor de cinza foi observado que a lama de coco teve um dos menores teor de sólido e o menor teor de cinzas. Por outro lado, foi observado que a casca de maracujá teve o menor teor de sólidos e o maior teor de cinzas. Estes dados são importantes para ajudar na avaliação da matéria orgânica e suas características, possibilitando otimizar o projeto do biodigestor de acordo com a biomassa disponível.

5.2 Construção e operação do biodigestor

O biodigestor foi construído visando a atender todos os requisitos e características para ter uma boa produção de biogás. Vale ressaltar algumas características deste biodigestor, que é a boa retenção de calor, fácil usabilidade, impermeabilidade, entre

outras características. Foi observado que seria bastante importante a abertura de uma nova válvula na base do biodigestor, pois toda matéria orgânica depositada (biofertilizante) poderia ser retirada facilmente, tornando o biodigestor mais funcional. O biofertilizante poderia atuar como um adubo orgânico capaz de complementar a adubação de hortas orgânicas, propriedades rurais, entre outras. mais funcional.

Figura 8: Biodigestor



Fonte: O autor (2022)

O biodigestor projetado foi capaz de produzir biogás, o qual apresentou um odor característico. Apesar da coleta do biogás gerado ter sido realizada através de um sistema de vácuo em um cilindro, não foi possível fazer a sua caracterização devido às limitações causadas pela pandemia. Deve ressaltar que a determinação do volume de biogás produzido e sua composição deve ser uma etapa imprescindível em trabalhos futuros.

Após a instalação do manômetro, foi verificada a pressão dentro do biodigestor durante 3 dias. As pressões obtidas estão na tabela 2. É válido ressaltar que estas pressões foram obtidas após coletar o gás produzido nos 14 dias iniciais, sem substituição da biomassa.

Tabela 2: Supervisão de pressão

Dia da medição	Pressão observada (psi)
1º	0,5
2º	1,0
3º	2,1

Fonte: O autor (2022)

5.3 Potencialidades da região para produção de biogás

Um dos grandes potenciais são as Centrais de Abastecimento do Estado do Rio Grande do Norte S/A (CEASA-RN), que desperdiça cerca de 13 toneladas de lixo por dia (LUCENA, 2014). De acordo com o Diretor José Adécio Filho, cerca de 90% dessas 13 toneladas são de resíduos orgânicos. Em um período de apenas 45 dias nas maiores avenidas de Natal, cerca de 859 árvores foram podadas, resultando em 370 metros cúbicos de resíduos orgânicos recolhidos (G1, 2019).

Em um mapeamento realizado por Silva (2018), foram realizadas coletas de dados dos resíduos gerados no Restaurante Universitário da UFRN durante o período de 31 de outubro a 30 de novembro de 2018. O acompanhamento foi de todas as refeições (desjejum, almoço e jantar); durante esse período, em média eram realizadas 4000 refeições/dia e, nos finais de semanas e feriados, 1000 refeições/dia. O total de resíduos orgânicos encontrados nesse período foi de 14.223,04 kg; e de inorgânicos, 1.450,10 kg. As áreas que tiveram um maior volume de desperdícios de resíduos orgânicos foram a copa de lavagem de panelas (4.617,75 kg) e a copa de lavagem de prato (4.021,35 kg). Do total de resíduos gerados no Restaurante Universitário, 90,73% são resíduos orgânicos que são capazes de gerar Biogás, mostrando o seu potencial para a substituição de parte do gás de cozinha utilizado. A maior parte dos resíduos orgânicos utilizados no Restaurante Universitário é destinada para o aterro Sanitário da Região Metropolitana do Natal BRASECO S/A, localizado em Ceará Mirim/ RN, e a outra parte é recolhida pela Escola Agrícola de Jundiá e destinado para a ração alimentar dos porcos. Na tabela 3 apresentam-se os dados obtidos na pesquisa de forma resumida.

Tabela 3: Quantidade de resíduos gerados

Local	Resíduos inorgânicos (kg/dia)	Resíduos orgânicos (kg/dia)	Total (kg/dia)	Referência
Ceasa	1300	11700	13000	Lucena (2014)
RU/UFRN	48	474	523	Silva et al (2020)

Fonte: Autor, 2022

A pesquisa realizada mostrou o potencial da cidade do Natal RN para a geração de energia renovável a partir do biogás.

5.3.1 Proposta de projeto para Restaurante Universitário

De acordo com os dados obtidos na seção 5.3, é possível identificar no RU um grande potencial dentro da Universidade Federal do Rio Grande do Norte para geração de biogás. Portanto, é de grande importância planejar uma mini usina de biogás no Restaurante Universitário, pois além de uma redução no consumo do GLP e redução de custos, o RU pode se tornar um ambiente sustentável através do uso do Biogás. Inicialmente, sugere-se a implementação em pequena escala, com a utilização de 2 Biodigestores do tipo Homebiogás 2.0 com capacidade de 4 kg/dia de resíduos orgânicos. A mini usina seria implantada no RU central e ao decorrer das análises e resultados poderia ser implantado nas demais unidades. Na Figura 9 pode ser visualizado o modelo proposto.

Figura 9: Homebiogas 2.0

Fonte: Homebiogas

Este modelo foi escolhido por já ter sido utilizado em diversos estabelecimentos residenciais, alimentícios, institucionais, entre outros. Este biodigestor possui baixa complexidade operacional e a produção do biogás não exige consumo de energia e utilização de equipamentos auxiliares, comportando-se como um sistema auto-sustentável.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante da necessidade atual da geração de energia elétrica de forma sustentável, a utilização de biodigestores para a produção de biogás como combustível apresenta um grande potencial, devido à grande quantidade de potenciais resíduos geradores de biogás, além do elevado poder calorífico do gás produzido, que pode substituir o gás de cozinha, entre outras aplicações. O processo de digestão anaeróbica, tendo como matéria prima resíduos orgânicos, requer um certo cuidado por se tratar de um sistema microbiológico, mas mantendo-se todas as condições operacionais corretas, é um sistema bastante eficiente.

Este estudo teve como objetivo a construção e operação de um biodigestor de baixo custo, como um sistema de fácil entendimento, fácil usabilidade e na operação.

Vale evidenciar algumas de suas características como: boa absorção do calor, impermeável e a baixa absorção de umidade. É fundamental que o local escolhido seja plano, que tenha fácil absorção térmica, isento de contaminação e sinalizado para minimizar riscos de acidente. Por meio do biodigestor construído e de resíduos orgânicos coletados com parceiros, foi possível produzir o biogás.

A fim de avaliar o potencial de produção de biogás, foi feita uma pesquisa sobre possíveis fontes de resíduos que são capazes de produzir biogás na cidade de Natal RN, verificando-se grande potencial de produção no CEASA RN, hotéis e partir de podas de árvores.

Considerando a grande quantidade de resíduos orgânicos existente no Restaurante Universitário de acordo com a pesquisa feita, é recomendado viabilizar a proposta de projeto apresentada neste estudo, pois além do biogás gerado, permite a redução de custos com o gás de cozinha, o biofertilizante que é produzido pode servir para uma futura horta a ser implementada próximo ao Restaurante Universitário.

A importância da utilização de fontes de energias renováveis e seus impactos positivos torna a produção doméstica de biogás uma tecnologia promissora para a geração de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, E. F. **Estudo da diversidade microbiana metanogênica em reatores UASB tratando esgoto sanitário**. 2007. 93 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

AMARAL, C. C. *et al.* **Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica**. Revista Ciência Rural, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1897-1902, 2004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM E-1755-01 (2015). **Standard Test Method for Ash in Biomass**. In: Annual Book of ASTM Standards, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM E-1756-08 (2015). **Standard Test Method for Determination of Total Solids in Biomass**. In: Annual Book of ASTM Standards, 2015.

BITAR, A. L. **Mineralização e formação de gases da degradação de Eichhornia azurea Kunth e Egeria najas Planch**. 2003. 133 f. Tese (Doutorado em Ciências – Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, São Carlos, 2003.

BOHRZ, G. I. **Geração de metano em lagoa anaeróbia: um estudo de caso em abatedouro de bovinos**. 2010. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) -Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Santa Maria, 2010.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios**. 2. ed. ver. e ampl. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, v. 5, 2007. 377 p.

FARIA, R. A. P. **Avaliação do potencial de geração de biogás e de produção de energia a partir da remoção da carga orgânica de uma estação de tratamento de esgoto – estudo de caso**. 2012. 63 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

Homebiogás. **Homebiogas 2.0**. Disponível em: <https://homebiogas.com.br/produto/homebiogas-2-compre-agora/>. Acesso em: 14 fevereiro 2022.

KELLEHER, B. P.; LEAHY, J. J.; HENIHAN, A. M.; O'DWYER, T.F.; SUTTON, D.; LEAHY, M.J. **Advances in poultry litter disposal technology – a review** Bioresource Technology. v.83, p. 27-36, 2002.

LETTINGA, G.; HULSHOF POL, L. W.; ZEEMAN, G. **Biological wastewater treatment. Part I: Anaerobic wastewater treatment.** Lecture Notes, Wageningen Agriculture University, ed January, 1996.

LOUZADA, A. G. **Avaliação da atividade metanogênica específica de lodos com condicionamento hidrolítico provenientes do sistema UASB + BFs.** 2006. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro tecnológico, Vitória, 2006.

LUCENA, Roberto. **Por dia, 13 toneladas de alimentos vão para o lixo na Ceasa. Tribuna do Norte.** Disponível em: <http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/por-dia-13-toneladas-de-alimentos-va-para-o-lixo-na-ceasa/288871>. Acesso em: 4 de janeiro 2022

MENDONÇA, E. F. **Tratamento anaeróbico de efluentes oriundos da bovinocultura de leite em biodigestor tubular.** 2009. 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Cascavel, 2009.

MEYSTRE, J. A. **Partida de um reator UASB, em escala piloto, para tratamento de efluente doméstico: estudo de caso para a região da Serra da Mantiqueira.** 2007. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

MONNET, F. **An introduction to anaerobic digestion of organic wastes.** Remade Scotland: 2003. 48 p.

MORRIS, R. L. **Relating Methanogen Community Structure to Function in Anaerobic Wastewater Digesters**. Ph.D. dissertation, Marquette University. 2011.

OLIVER, A. de P. M. et al. Manual de treinamento em biodigestão. Salvador: Winrock, 2008. 23 p.

PINHEIRO, D. M. **Influência da velocidade de recirculação no tratamento anaeróbio de esgoto sintético em biorreator operado em batelada sequencial contendo biomassa granulada**. 2006. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Engenharia Mauá, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2006.

PORTAL DO BIOGÁS. **Biodigestor anaeróbio**. Disponível em: <https://www.portaldobiogas.com/biodigestor-anaerobio/>. Acesso em: 9 Novembro 2021

PREFEITURA DO NATAL. **Prefeitura destina material de poda para adubação**. G1. Disponível em: <https://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/especial-publicitario/prefeitura-do-natal/natal-a-nossa-cidade/noticia/2019/02/04/prefeitura-destina-material-de-poda-para-adubacao.ghtml>. Acesso em: 17 Dezembro 2021

SALOMON, K. R. **Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade**. 2007. 219 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Engenharia Mecânica, Itajubá, 2007.

SEIXAS, J.; FOLLE, S.; MARCHETTI, D. **Construção e funcionamento de biodigestores**. Brasília: EMBRAPA-DID, Circular técnica n 4, 1980.

SILVA, Katia. **Conhecer para (su) gerir: desperdícios relacionados às práticas de sustentabilidade no restaurante universitário**. 2019. Mestrado em Gestão de processos

institucionais. Universidade Federal do Rio grande do Norte centro de Ciências Humanas, Letras e Artes.

SOARES, H. M. **Digestão anaeróbia de efluentes de fábricas de cervejas e refrigerantes em reator tipo fluxo ascendente com manta de lodo (UASB)**. 1990. 253 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

SPEECE, R. E. **Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters**. Nashville, Tenn: Archae Press, 1996. 394 p.

União Europeia decide encerrar até 2050 a era dos combustíveis fósseis no bloco. El país, Madri, 28 de novembro de 2018.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente**. Editora Epgraf, 1994. 208 p.

WEREKO-BOBBY, C. Y.; HAGEN, E. B. **Biomass conversion and technology**. Editora John Wiley & Sons. P. 2-224. New York, 2000.