

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

MARIANA SODRÉ CASTRILLON

**CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA CERVEJEIRA PARA
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS**

BAGÉ

2022

MARIANA SODRÉ CASTRILLON

**CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA CERVEJEIRA PARA
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia de Energia da Universidade
Federal do Pampa, como requisito parcial para
obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de
Energia

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Sabrina Neves da Silva

Coorientadora: Prof^ª Dr^ª Catarina Motta de
Moura

Bagé

2022

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

355c Castrillon, Mariana Sodré
CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA CERVEJEIRA PARA AVALIAÇÃO
DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS / Mariana Sodré Castrillon.
53 p.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA
DE ENERGIA, 2022.
"Orientação: Sabrina Neves da Silva".

1. Resíduos de cervejaria. 2. Biogás. 3. Bio digestão. 4. Geração de energia. I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal do Pampa

MARIANA SODRÉ CASTRILLON

CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA CERVEJEIRA PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para o Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 15 de agosto de 2022.

Banca examinadora:

Prof. Dra. Sabrina Neves da Silva
Orientadora
UNIPAMPA

Prof. Dra. Catarina Motta de Moura
Coorientadora
UNIPAMPA

Profa. Dra. Tânia Regina de Souza
UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **SABRINA NEVES DA SILVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 12/08/2022, às 14:41, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **CATARINA MOTTA DE MOURA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/08/2022, às 14:05, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **TANIA REGINA DE SOUZA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/08/2022, às 14:48, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0882465** e o código CRC **47E8EA6B**.

MARIANA SODRÉ CASTRILLON

**CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA CERVEJEIRA PARA
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para o Curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal do Pampa como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Energia

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família

AGRADECIMENTOS

Gratidão aos meus pais, Patrícia Sodré e Ulisses Castrillon, por todo apoio, conselhos, sabedoria e as melhores referências que eu poderia ter. A minha irmã e melhor amiga, Giovanna Sodré Castrillon por ser minha força e braço direito em todos os momentos, minha querida avó Alice por toda dedicação, aos meus queridos amigos por todo companheirismo e conselhos e as minhas orientadoras Sabrina Neves e Catarina Motta de Moura pela excelente orientação e valiosos conselhos.

*"Em algum lugar, alguma coisa incrível está
esperando para ser descoberta."*

Carl Sagan

RESUMO

Os resíduos de cervejaria são produzidos em grandes quantidades, em todo o mundo. Tendo em vista o aumento do consumo de cerveja, o descarte desses resíduos no meio ambiente resulta em uma série de transtornos para o ecossistema, devido à composição rica em matéria orgânica. A digestão anaeróbia ou bio digestão de materiais orgânicos é um processo em que a matéria orgânica complexa é degradada a compostos mais simples na ausência de oxigênio, sendo uma maneira eficiente de tratar quantidades consideráveis de resíduos. O gás proveniente desse processo é chamado de biogás, sendo constituído principalmente por metano (CH_4). O objetivo deste estudo foi a caracterização físico-química dos materiais residuais de cervejaria: bagaço do malte, trub quente e levedura residual. Determinou-se o teor de cinzas, teor de umidade, proteínas totais, a Demanda Química de Oxigênio (DQO), a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e estimou-se o Fator de Biodegradabilidade. Além disso, com base nos dados de consumo de gás liquefeito de petróleo (GLP), da cervejaria fornecedora dos resíduos, projetou-se um sistema de biodigestão para empresa e analisou-se o *payback*. Foi demonstrado que os resíduos analisados têm as características físico-químicas adequadas para produzir biogás. Considerando a implantação de um biodigestor com eficiência de 70% para a remoção de DQO Com a instalação de um biodigestor, estimou-se um retorno financeiro a partir do terceiro ano de instalação. A geração local de biogás contribui para diminuição do descarte inadequado dos resíduos da cervejaria, redução do consumo de combustível fóssil e conseqüentemente, a diminuição das emissões de poluentes.

Palavras-chave: Resíduos de cervejaria; Biogás; Biodigestão; Geração de energia.

ABSTRACT

Brewery waste is produced in large quantities around the world, in view of the increase in beer consumption, the disposal of this waste in the environment results in a series of disorders for the ecosystem, due to its rich composition in organic matter. Anaerobic digestion or biodigestion of organic materials is a process in which complex organic matter is degraded to simpler compounds in the absence of oxygen, being an efficient way to treat considerable amounts of waste. The gas from this process is called biogas and consists mainly of methane (CH_4). The objective of this study was the chemical characterization of the materials, through the analysis of parameters, analyze parameters of ash content, moisture content, determination of total proteins, Chemical Oxygen Demand, Biochemical Oxygen Demand, Durability Factor and payback analysis of the investment of brewery waste, being they; Residual malt pomace, hot trub and residual yeast. The studied residues presented high moisture content and significant protein fraction, demonstrating the possibility of its use for its recovery. Thus, the generation of biogas from residual organic matter from the beer production process becomes a sustainable alternative for the reuse of waste to obtain a clean fuel. Considering the implementation of a biodigester with 70% efficiency for DQO removal with the installation, a financial return is estimated from the third year of installation. The local generation of biogás contributes to the reduction of improper disposal of brewery waste, reduction of fossil fuel consumption and consequently, reduction of pollutant emissions.

Keywords: Brewery waste; Biogás; Biodigestion; energy generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma esquemático do processo de produção da cerveja	16
Figura 2 – Bagaço residual do malte	19
Figura 3 – Trub Quente	19
Figura 4 – Levedura Residual.....	20
Figura 5 – Distribuição geográfica das cervejarias no Brasil.....	21
Figura 6 – Esquema de geração de energia a partir de 1 tonelada de resíduo	23
Figura 7 – Resíduos utilizados.....	25
Figura 8 – Amostras já submetidas a incineração pós mufla	26
Figura 9 – Titulação com o Sulfato Ferroso Amoniacal	27
Figura 10 – Incubadora BOD Oxylab OXY-101.....	28
Figura 11 – Biodigestor residencial.....	29
Figura 12 – Valores da Demanda Química de Oxigênio.....	30
Figura 13 – Tempo de retorno do investimento	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Poder Calorífico de Alguns Gases Combustíveis.....	22
Tabela 2 - Caracterização física química dos resíduos	31
Tabela 3 - Análise da DQO, DBO, Fator de Biodegradabilidade e pH.....	32
Tabela - Cálculo do <i>Payback</i>	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BM - Bagaço de Malte
CH₄ - Gás Metano
CO₂ - Dióxido de Carbono
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO - Demanda Química de Oxigênio
GLP - Gás Liquefeito de Petróleo
GNV - Gás Natural Veicular
H₂S - Ácido Sulfídrico
H₂SO₄ - Ácido Sulfúrico
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBU - International Bitterness Units
LR - Levedura Residual
LRC - Levedura Residual de Cervejaria
P.C.I - Poder Calorífico Inferior
pH – Potencial Hidrogeniônico
PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNS - Pesquisa Nacional de Saúde
TF - Trub Frio
TR - Trub Quente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo Geral	14
1.1.1 Objetivos Específicos	14
2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CERVEJA	15
2.1.1 Moagem do Malte	16
2.1.2 Processo de Mostura.....	16
2.1.3 Filtração do Mosto	17
2.1.4 Fervura e Resfriamento do Mosto	17
2.1.5 Fermentação	17
2.1.6 Maturação.....	18
2.1.7 Envase da Cerveja	18
2.2 RESÍDUOS DE CERVEJARIA	18
2.2.1 Bagaço Residual do Malte.....	18
2.2.2 Trub Quente	19
2.2.3 Levedura Residual.....	20
2.3 Mercado Cervejeiro no Brasil	21
2.4 Biogás Para Geração de Energia	22
2.5 O Biogás no Setor Cervejeiro	23
2.6 Relação entre a produção de biogás e as Demandas Químicas e Bioquímica de Oxigênio	24
3 METODOLOGIA	25
3.1 Resíduos obtidos no processo de produção de cerveja	25
3.2.1 Determinação do Teor de Umidade.....	25
3.3 Teor de Cinzas	27
3.4 Teor de Proteínas	28
3.5 Demanda Química de Oxigênio	28
3.6 Demanda Bioquímica de Oxigênio	28
3.7 Biodegradabilidade	29
3.8 Cálculo da Viabilidade Econômica Através do <i>Payback</i> Simples em Plantas de Biogás	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	46

1 INTRODUÇÃO

Uma vez que o biogás pode ser gerado a partir de diferentes resíduos orgânicos podendo contribuir para a correta destinação e tratamento de resíduos urbanos, industriais e da agropecuária, o biocombustível, é um grande aliado do saneamento ambiental. Além disso, por meio da queima do biogás, converte-se o CH_4 em gás carbônico CO_2 e água (H_2O). Apesar de haver formação de CO_2 as quantidades emitidas são inferiores daquelas geradas pela combustão de GLP, gasolina ou óleo diesel (Fernandes, 2019).

Segundo Domingos (2017), o biogás pode ser usado para a geração de energia elétrica, térmica e mecânica. A principal intenção no uso do biogás é substituir os gases de origem mineral (fóssil) como o GLP, usado como gás de cozinha, GN (Gás Natural) usado em equipamentos domésticos e GNV (Gás Natural Veicular). Sendo assim, o biogás pode ser empregado nos mais variados tipos de produtos, como em fogões domésticos e/ou industriais, lâmpíões, motores de combustão interna (automóveis), geladeiras, chocadeiras, secadores de grãos ou secadores diversos e aquecimento e balanço calorífico.

Segundo Coelho (2021), é necessário construir um futuro para os combustíveis no Brasil aproveitando os potenciais e os diferenciais competitivos nos biocombustíveis em relação a outras nações, destacando o fortalecimento do desenvolvimento de tecnologias automotivas nacionais que aproveitem a vocação do Brasil.

Aliado a esse cenário, tem-se que os brasileiros estão consumindo cada vez mais bebidas alcoólicas. O índice é 4,1 pontos percentuais maior do que era em 2013 (12,9%). Puxado por esse aumento entre as mulheres, 26,4% da população adulta afirmou ter bebido semanalmente em 2019 contra 23,9% em 2013. Esse é um dos resultados apresentados pela Pesquisa Nacional de Saúde (PNS), divulgada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em convênio com o Ministério da Saúde (Belandi, 2019).

Esse aumento de consumo, tem como consequência o maior volume de resíduos gerados. As questões que englobam os problemas relacionados ao manejo sustentável dos resíduos sólidos urbanos (RSU) abrangem a abordagem dessas problemáticas no Brasil se baseando na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), cujo intuito é determinar como os setores industriais, ajam diante os processos que tangenciam a geração de resíduos sólidos desde a geração até o descarte e tratamento (El-Deir, 2014).

Os resíduos de cervejaria tais como o bagaço do malte, trub quente e levedura apresentam, em geral, composição química e nutricional que exige elevada DBO para degradação. Desta maneira, sua disposição no ambiente gera transtornos ao ecossistema. Sendo assim, os resíduos devem ser tratados antes de sua disposição final, o que muitas vezes representa custos que são incluídos na cadeia produtiva para repasse ao consumidor. Visando à obtenção de produtos de

maior valor agregado e a destinação dos resíduos gerados para fins mais nobres, os bioprocessos industriais apresentam-se como potenciais meios para destinação destes rejeitos (Aliyu *Et Al.*, 2011).

Sendo assim, propõe-se neste trabalho caracterizar por análises físico-químicas os resíduos de cervejaria supracitados visando a utilização como matéria-prima para produção de biogás através da digestão anaeróbia.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é a caracterização de resíduos de cervejaria para produção de biogás.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Realizar análises-físico-químicas dos resíduos: determinação de cinzas e umidade, DQO, DBO, proteínas totais e fator de biodegradabilidade.
- Projetar um sistema de geração de biogás para uma cervejaria.
- Analisar o *payback* do sistema de bio digestão _

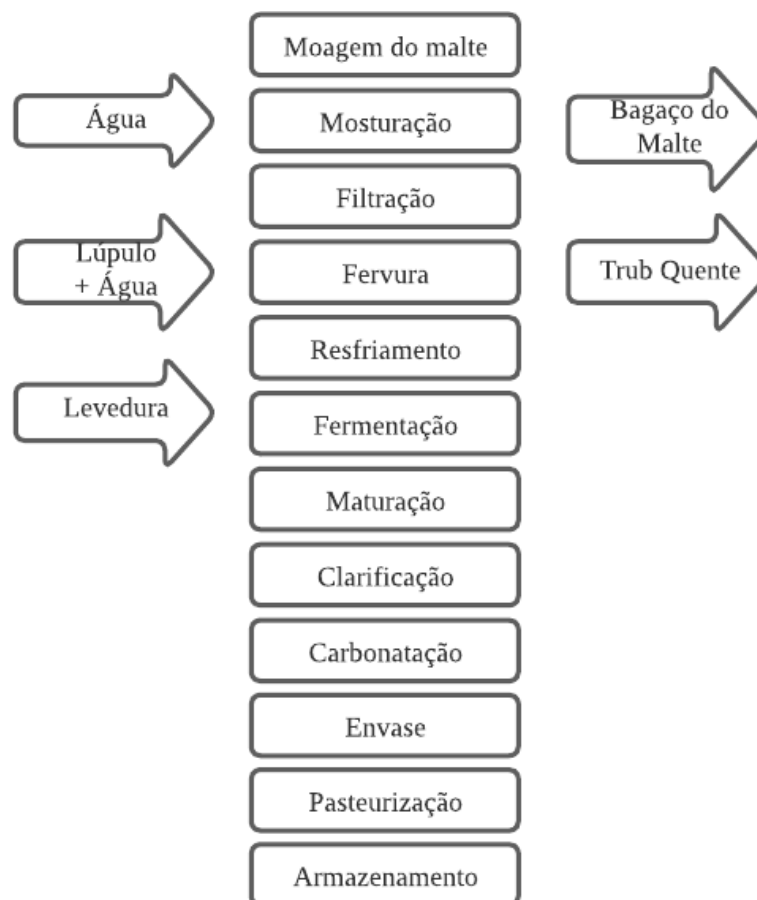
2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DA LITERATURA

No referencial teórico serão evidenciados alguns conceitos com o intuito de auxiliar e esclarecer a compreensão da pesquisa que serão abordadas ao longo do trabalho, sendo assim, serão discutidos aspectos referentes ao setor cervejeiro e biogás.

2.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CERVEJA

A existência dos diferentes tipos de malte é devido a temperatura e ao tempo de secagem, e sua coloração característica está relacionada ao grau de torrefação (Rabello, 2009). A Figura 1 mostra um fluxograma simplificado da produção de cerveja e nos subitens a seguir a descrição de cada etapa. Para a produção de cerveja, é utilizado malte, água, lúpulo, leveduras e, em alguns casos, frutas. Na Figura 1, observa-se um fluxograma do processo de produção da cerveja.

Figura 1- Fluxograma esquemático do processo de produção da cerveja



Fonte: Adaptado de Teles (2021)

2.1.1 Moagem do Malte

O processo de moagem, tem por objetivo quebrar o grão do cereal e expor o amido interno, aumentando a superfície de contato com as enzimas do malte, favorecendo a hidrólise. Essa etapa tem relação direta com a rapidez das transformações físico-químicas, rendimento, clarificação e qualidade final da cerveja (Dragone *et al.*, 2010).

2.1.2 Processo de Mostura

A mostura consiste na mistura do malte moído com a água cervejeira na tina de mistura, ou cozimento do malte. Nesta etapa, emprega-se um controle rigoroso de tempos e temperaturas de processo, com o objetivo de favorecer as reações bioquímicas necessárias ao processo (Debatin, 2017).

2.1.3 Filtração do Mosto

A filtração do mosto tem por objetivo a separação da parte sólida, chamada de bagaço de malte e a parte líquida, o mosto cervejeiro; de real interesse para o processo de manufatura (Bleier, 2013).

2.1.4 Fervura e Resfriamento do Mosto

Na etapa de fervura do mosto ocorre desnaturação proteica, ou seja, a concentração do mosto, a eliminação de compostos sulfurosos e a esterilização e escurecimento do mosto, através da reação de Maillard, onde é feita a adição do lúpulo, usualmente feita em duas etapas: no início da fervura, para conferir o amargor e ao final da fervura. Esta é responsável por conferir o aroma característico da cerveja. O processo leva normalmente de 80 minutos de fervura efetiva e mais trinta minutos para o aquecimento do líquido (Papazian, 2015). O mosto é submetido em repouso por 20 minutos para formação do trub quente e, logo em seguida, é realizado o resfriamento do mosto com o uso da serpentina de cobre (Venturini, 2010).

2.1.5 Fermentação

O processo de fermentação é iniciado após a inoculação da levedura, com o mosto já

devidamente resfriado e airado. Nessa etapa, ocorre a liberação de CO₂ e calor (Venturini, 2010).

2.1.6 Maturação

Na etapa de maturação, as substâncias químicas se estabilizam e se associam, resultando na acentuação do sabor e aroma da cerveja. Nessa fase separa-se o fermento do mosto (Morado, 2011).

2.1.7 Envase da Cerveja

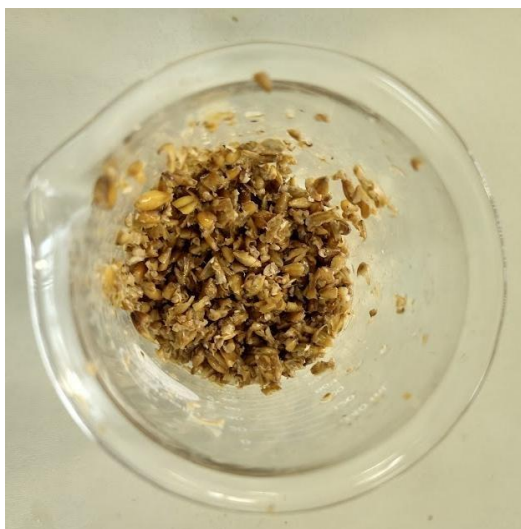
O envase pode ser feito mecanicamente ou manualmente, sendo o primeiro mais seguro. O CO₂ formado durante o processo de fermentação se perde para o meio nas etapas posteriores, por isso é fundamental realizar um passo chamado de *priming*, que consiste na adição de um preparado de açúcar, água e limão. Sua função é fornecer substrato para que os microrganismos presentes na cerveja consumam e gerem CO₂ (Mathias, 2014).

2.2 RESÍDUOS DE CERVEJARIA

2.2.1 Bagaço Residual do Malte

O bagaço de malte, assim como mostrado na Figura 2, é gerado após a etapa de mostura e esgotamento dos grãos de malte moídos, quando já foram extraídos todos os compostos solúveis de interesse para constituição do mosto doce e sua clarificação, durante a qual o bagaço exerce importante papel como torta filtrante. Este resíduo constitui o resíduo sólido de maior quantidade gerado no processo cervejeiro (cerca de 85% do total), sendo produzido em grandes volumes ao longo de todo ano, apresentando elevado valor nutricional (Aliyu *et al.*, 2011).

Figura 2 - Bagaço residual do malte



Fonte: Autora (2020)

2.2.2 Trub Quente

O trub quente é o segundo resíduo sólido gerado no processo cervejeiro, durante a etapa de cocção do mosto. É resultante, predominantemente, da coagulação de proteínas, principalmente de elevada massa molar, cujas moléculas tendem a perder água de solvatação por ação do calor, o que promove sua desnaturação. Contudo, outras substâncias podem estar presentes, devido à sua participação na formação destes complexos ou devido ao arraste durante sua deposição (Mathias, 2014). A Figura 3 mostra o trub quente (TR) obtido em sua forma bruta, ou seja, como foi obtido após o processo de cocção do mosto.

Figura 3 - Trub Quente



Fonte: Autora (2020)

2.2.3 Levedura Residual

A levedura torna-se resíduo a partir de um determinado limite de reutilização, o qual leva em consideração a contaminação do inóculo, bem como a viabilidade e a vitalidade celular. Portanto, periodicamente, a indústria cervejeira deve dar destino adequado à grande quantidade deste material (Olajire *et al.*, 2010).

A levedura pode ser utilizada para inocular novos processos de fermentação, uma vez que se reproduzem intensamente, principalmente nas horas iniciais da etapa de fermentação, aumentando sua população entre 3 e 4 vezes dentro do reator, não afetando o processo de fermentação (Yamada *et al.*, 2003). A seguir, na Figura 4 é mostrada a levedura residual obtida após dois aproveitamentos.

Figura 4 - Levedura Residual



Fonte: Autora (2020)

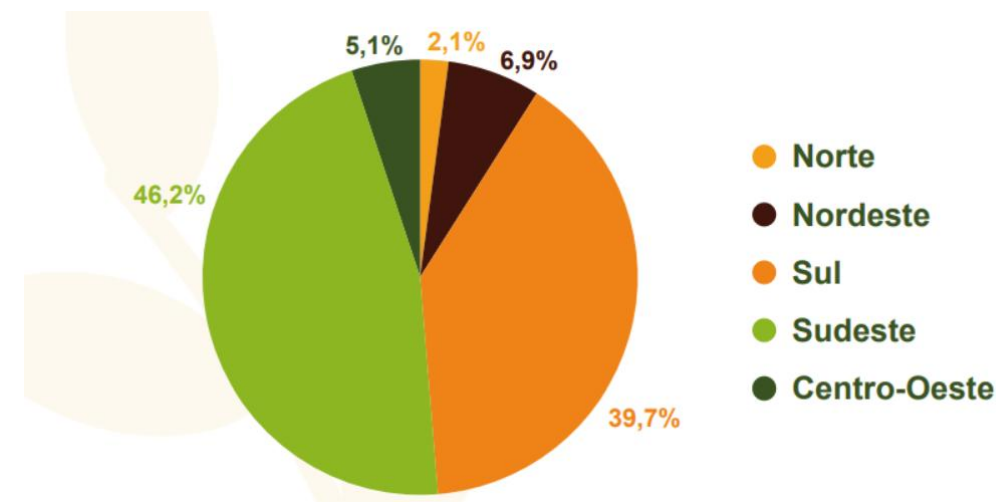
2.3 Mercado Cervejeiro no Brasil

O número de cervejarias vem crescendo exponencialmente ano após ano. O setor cervejeiro representa 1,6% do PIB brasileiro e 14% da indústria de transformação nacional. Sua arrecadação atinge cerca de R \$21 bilhões por ano em impostos, sendo que a cada R\$1,00 investido no setor são gerados R \$2,50 na economia (Cervbrasil 2020).

Em relação ao porte das unidades cervejeiras, apenas 2% produzem acima de 100.000 litros de cerveja por mês e aproximadamente 41% das unidades se concentram na escala de produção mensal entre 1.000 e 4.999 litros de cerveja, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (2019), ou seja, 69% das unidades cervejeiras do Brasil são de micro ou pequeno porte, com produção de até 9.999 litros por mês. A Figura 5 mostra um balanço da distribuição geográfica das cervejarias no Brasil. Pode-se observar que o Rio Grande do Sul se

encontra entre os estados com o maior número de cervejarias no país, perdendo apenas para o estado de São Paulo.

Figura 5 - Distribuição geográfica das cervejarias no Brasil



Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2022).

2.4 Biogás Para Geração de Energia

O processo de digestão anaeróbia da matéria orgânica a ser convertida à biogás é dividido em quatro fases. A primeira fase é a hidrólise, em que as ligações moleculares complexas do material orgânico (polímeros) são quebradas por enzimas, transformando em compostos orgânicos simples (monômeros) ou matéria orgânica volátil. a segunda fase é a acidogênese, em que o produto da hidrólise é transformado em ácidos orgânicos voláteis (ácido propanóico, ácido butanóico, ácido láctico, álcool, hidrogênio e gás carbônico). Na terceira fase, chamada acetogênese, o produto decorrente da acidogênese é transformado em ácido acético CH_3COOH , hidrogênio H_2 e CO_2 . Por fim, na quarta fase, a metanogênese, ocorre a conversão do CH_3COOH e do H_2 em CH_4 e CO_2 .

Segundo Gonçalves (2014), no processo de produção de biogás através de digestão anaeróbia, existem vários os fatores preponderantes como é o caso da temperatura, pH, nutrientes, teor de umidade, o tipo de reator. Uma vez que a digestão anaeróbia tem como seus principais intervenientes o microrganismo é necessário ter em atenção ao pH envolvido no reator, para se poder aumentar a eficiência global do processo. Assim sendo, o pH de um reator anaeróbio não se deve encontrar nem acima dos 7.6 nem abaixo dos 6, porém na fase metanogênica deve existir um pH acima dos 6.6.

Segundo Pompermayer (2003), devido à presença do biometano, o biogás é um gás combustível, sendo o seu poder calorífico inferior (PCI) é de cerca de 5500 kcal/m^3 . Já a proporção de metano é de aproximadamente de 60%, mas esse percentual é variável em função

do teor de CH₄ contido no biogás.

O CH₄ contido no biogás, quando queimado, libera uma energia útil, seja pelo uso direto do calor (aquecimento, geração de vapor, secagem em geral) ou da luz para iluminação de ambientes. Também pode ser convertido em energia elétrica, pela queima em geradores turbinas, ou energia cinética, através da utilização do gás em motores ou moto bombas adaptados (Iclei, 2010).

A Tabela 1 mostra o poder calorífico de diferentes gases combustíveis, a partir deste valor, obtém-se valores de referência exatoa para os cálculos de *payback* realizados neste trabalho.

Tabela 1: Poder Calorífico de Alguns Gases Combustíveis

Gás	Poder Calorífico (kcal/unidade)
Biogás (m ³)	5.500
Gás Natural (m ³)	9.400
Gás Liquefeito de Petróleo (kg)	11.800

Fonte: Adaptado de CENTRO DE TECNOLOGIAS DO GÁS (2008).

2.5 O Biogás no Setor Cervejeiro

A energia gerada a partir dos substratos supracitados no item 3.2, poderiam reduzir o consumo de energia elétrica na cervejaria, ou ainda diminuir o consumo de combustíveis fósseis como diesel e gasolina a partir da sua substituição pelo biometano contido no biogás. Considerando o biometano produzido a partir de 1 tonelada de levedura, bagaço de malte e terra diatomácea, e aplicando no setor de transporte, seria possível percorrer aproximadamente 2.400 km com um veículo leve. Algumas cervejarias do Brasil já aproveitam seus resíduos para a produção de biogás em escala real. Segundo levantamento apresentado no Biogás Map 4, até 2019, seis cervejarias realizaram aproveitamento energético do biogás, das quais quatro utilizam o combustível para geração de energia elétrica e duas como fonte para aproveitamento térmico. A Figura 6 apresenta a geração de energia elétrica, térmica e biometano a partir de uma tonelada de bagaço de malte, levedura e terra diatomácea, exemplificando, assim, a conversão do substrato em energia.

Figura 6 - Esquema de geração de energia a partir de 1 tonelada de resíduo



*Energia térmica = queima direta

Fonte: CIBIOGÁS (2022).

2.6 Relação entre a produção de biogás e as Demandas Químicas e Bioquímica de Oxigênio

Segundo Braga (2012), a Demanda Química de Oxigênio trata-se da quantidade de oxigênio necessária para oxidar quimicamente a matéria orgânica e inorgânica de um efluente, nas condições específicas da análise, utilizando um oxidante forte, tal como o dicromato de potássio em meio ácido e com um catalisador a base de prata. A análise dos valores de DQO em efluentes e em águas superficiais é uma das mais expressivas análises para determinação do seu grau de poluição.

Segundo Baird (2002), DBO representa de forma indireta a quantidade de matéria que foi consumida pelos microrganismos aeróbios e constitui um importante parâmetro na caracterização de seu grau de poluição. A DBO também avalia a tratabilidade biológica de um efluente, quanto maior o valor da DBO, maior a tratabilidade biológica dos compostos orgânicos presentes num dado efluente (Braga, 2012).

A produção ideal de biogás pode ser calculada por meio da degradação de DQO e DBO no biodigestor. No caso da DQO, a cada 16 gramas de CH₄ produzido correspondem à remoção de 64 de DQO do resíduo, ou seja, 0,25 kg CH₄kg⁻¹ DQO. Em condições normais de temperatura e pressão, na qual um mol de CH₄ tem a massa de 16 gramas e ocupa um volume de 0,0224m³ a relação fica 0,35 m³ de CH₄kg⁻¹ DQO removido (Queiroz *et al.*, 2018).

Para DBO, para concentração de matéria orgânica no substrato entre 17 e 50gL⁻¹ de DBO, é possível produzir 5,1 a 15,03 m³ de CH₄ (Tunes, 2017)

As relações entre a DQO e a DBO com a produção de biogás podem ser influenciadas por fatores como: i) uma fração da matéria orgânica, 5 a 10%, é utilizada pelos microrganismos para sintetizar material celular; ii) uma parte do material pode ser perdida com o efluente; iii) compostos fibrosos não são degradados e iv) limitações devido a insuficiência de nutrientes. Dessa forma, deve-se considerar uma taxa de conversão da matéria orgânica em CH₄ variando entre 60 e 95 % (Queiroz *et al.*, 2018).

Para um dado resíduo, se a relação $DQO/DBO < 2,5$ o mesmo é facilmente biodegradável. Se a relação $5,0 < DQO/DBO \leq 2,5^a$ biodegradação tende a ser mais difícil, e por fim, se a relação $DQO/DBO > 5$, então o processo biodegradação tem pouca chance de sucesso (Jardim *et al.*, 2004).

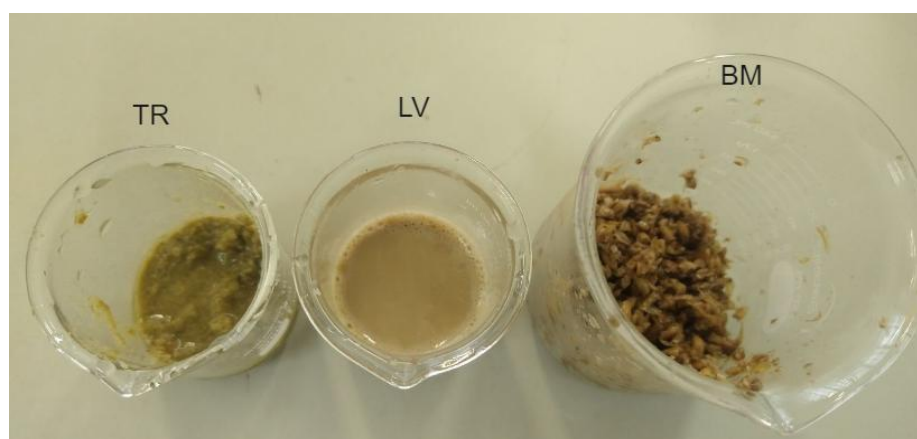
3 METODOLOGIA

Para a caracterização e utilização no trabalho, foram utilizados três resíduos sólidos do processo de obtenção da cerveja, sendo eles; Bagaço de malte (BM), Trub frio (TF) e a levedura residual (LR). Potencial energético a partir das caracterizações das amostras e por fim, a análise do *payback*. As análises realizadas foram: teor de cinzas, teor de umidade, proteínas totais, DQO e DBO. Estimou-se o Fator de Degradabilidade para avaliar a biodegradabilidade de cada resíduo.

3.1 Resíduos obtidos no processo de produção de cerveja

Os resíduos utilizados foram doados pela empresa Bosco Beer, localizada no município de Bagé - RS. A cervejaria gera em média 160 kg de resíduos mensalmente. Logo após os processos de obtenção, os materiais foram colocados em recipientes previamente sanitizados e imediatamente congelados com o intuito de evitar quaisquer contaminações que pudessem implicar nos resultados das análises. Todas as análises descritas a seguir foram realizadas no mínimo em duplicata, com resultados expressos em seus valores médios e respectivos desvios. Os resíduos foram obtidos a partir de uma cerveja do estilo Pilsen, cuja composição é malte *Pilsen*, lúpulo, água e levedura. A Figura 7 mostra os resíduos a serem caracterizados.

Figura 7- Resíduos utilizados



Fonte: Autora (2020)

3.2 Caracterização dos resíduos

3.2.1 Determinação do Teor de Umidade

O procedimento para determinação do teor de umidade permitiu determinar a quantidade de água presente na matéria orgânica. A metodologia empregada foi a secagem direta em estufa

a 105 °C (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008). O experimento foi realizado em triplicata com, aproximadamente, 3 g de amostras obtidas em sua forma bruta, ou seja, sem secagem prévia. Utilizou-se a Equação 1 a seguir para o cálculo de umidade contido nas amostras.

$$\text{Teor de umidade} = \frac{M \text{ úmida} - M \text{ Seca}}{M \text{ Seca}} \quad (1)$$

Onde:

M Seca= massa em gramas de umidade após a secagem

M *úmida* = massa em gramas da amostra úmida

3.3 Teor de Cinzas

A análise de teor de cinzas é usada para definir a quantidade de matéria orgânica presente no substrato com potencial para ser biometanizada pelos micro-organismos. (Chernicharo, 2007). Utilizou-se o método de Instituto Adolfo Lutz (2008), onde a temperatura de incineração da matéria-prima é em média 550°, através da técnica de incineração em mufla. Foram pesadas aproximadamente 3g de amostras. A Figura 8 mostra as amostras já submetidas a incineração pós mufla.

Figura 8- Amostras já submetidas a incineração pós mufla



Fonte: Autora (2020)

Para o cálculo de teor de cinzas contido em cada amostra, utilizou-se a Equação 2:

$$\text{Teor de Cinzas (\%)} = \frac{100 \times N}{P} \quad (2)$$

Onde:

N = massa gramas de Cinzas

P = massa em gramas de amostra

3.4 Teor de Proteínas

De acordo com o INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008), a determinação do teor de proteínas é feita através do método de Kjeldahl, que consiste respectivamente na digestão dos compostos nitrogenados presentes na amostra, seguida da destilação e titulação da amônia, resultando no teor de proteínas totais (%). A Figura 9 mostra o processo de destilação, na qual a amostra é submetida antes da titulação.

Figura 9 - Destilação de amostras



Fonte: Autora (2020)

Para a determinação de proteínas brutas, quantifica-se a quantidade de nitrogênio através da Equação 3.

$$\text{Nitrogênio Total} = \frac{V \times N \times 0,014 \times 100}{P} \quad (3)$$

Onde:

$V = (\text{Volume amostra} - \text{Volume em branco})$

$N = \text{Normalidade do HCl}$

$0,014 = \text{Equivalente do nitrogênio}$

$P = \text{Número de gramas da amostra}$

3.5 Demanda Química de Oxigênio

Determinou-se a DQO utilizando o método de APHA(2005). Diluiu-se em 1 g de amostra em 1 L de água destilada, com o intuito de equalizar a concentração da solução, promovendo resultados mais precisos. A Figura 10 mostra a titulação com sulfato ferroso amoniacal. Para o cálculo da DQO utilizou-se a Equação 4:

$$\text{Teor de DQO} = (A - B)C \times 80000 \text{ [mg O}_2\text{/L]} \quad (4)$$

Onde:

Onde:

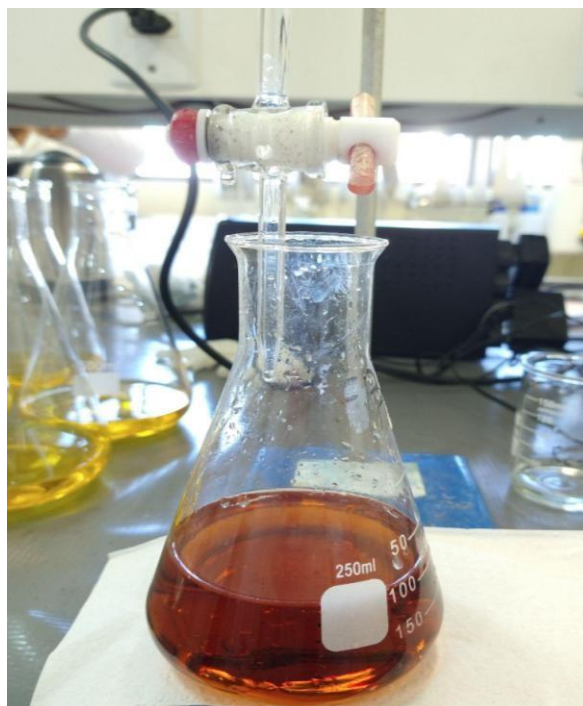
$A = \text{volume gasto da solução de dicromato no branco (mL)}$

$B = \text{volume gasto da solução de dicromato na amostra (mL)}$

$C = \text{concentração do dicromato (mol/L)}$

$80000 = \text{fator de conversão para mg O}_2\text{/L}$

Figura 10 - Titulação com o Sulfato Ferroso Amoniacal



Fonte: Autora (2020)

3.6 Demanda Bioquímica de Oxigênio

Para a determinação da DBO, utilizou-se a metodologia descrita em APHA (2005), com o auxílio do medidor DBO: Sistema DBO Aqualytic AL606 e incubadora_BOD Oxylab OXY-101 e medidor de pH. Determinou-se, assim, a quantidade de oxigênio necessária para a degradação bioquímica da matéria orgânica durante o período de incubação de cinco dias.

Figura 11 - Incubadora BOD Oxylab OXY-101



Fonte: Autora (2020)

3.7 Biodegradabilidade

A estimativa da biodegradabilidade foi calculada pela na Equação 5:

$$Fb = DBO/0,65 \times DQO \quad (5)$$

Onde:

0,65 é adotada para efluentes primários industriais.

Fb = fator de biodegradabilidade.

3.8 Cálculo da Viabilidade Econômica Através do Payback Simples em Plantas de Biogás

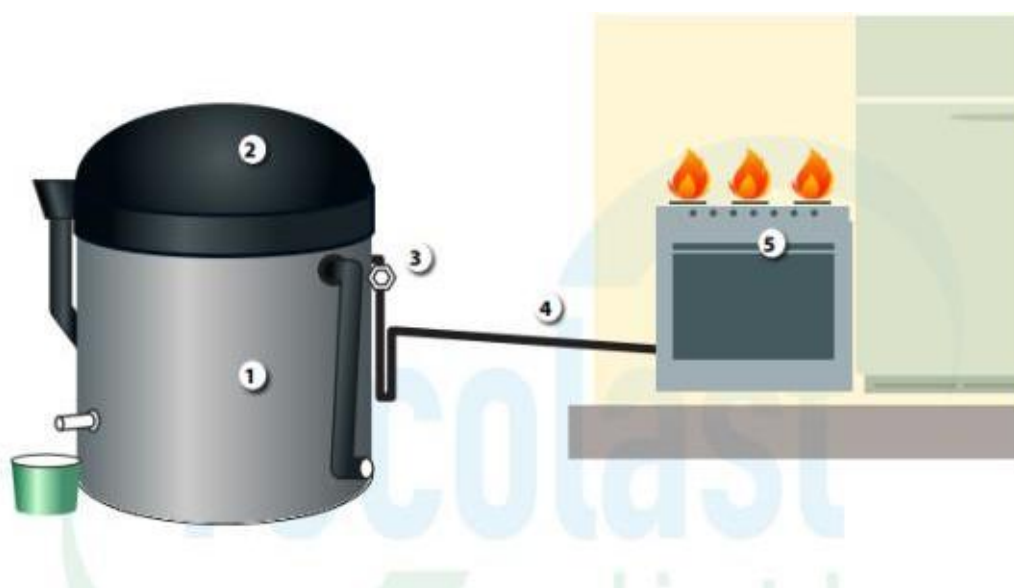
A equivalência energética do biogás em relação a outros energéticos foi determinada levando-se em conta o poder calorífico e a eficiência média de combustão. Assim, constatou-se que a equivalência energética de 1 m³ de biogás corresponde a 0,572 m³ de GLP (Pompermayer

et al., 2003). Considerando que o consumo médio de GLP da cervejaria para atividades que utilizam o gás é de aproximadamente $0,0315 \text{ m}^3$ por mês, o equivalente energético em biogás seria de $0,0549 \text{ m}^3$ por mês. Sendo assim, a seleção do biodigestor foi baseada nesse critério.

Como objeto de estudo, foi escolhido o biodigestor residencial Recolast, representado na Figura 12, levando-se em consideração fatores como espaço disponível, quantidade média de produção de resíduos e demanda de biogás a ser suprida.

Tendo em vista que o consumo médio de GLP da cervejaria para atividades que utilizam GLP é de aproximadamente $0,0315 \text{ m}^3$ de GLP por mês, considerando o equivalente energético, a demanda seria de $0,0549 \text{ m}^3$ de biogás por mês. Sendo assim, a seleção do biodigestor foi baseada nesse critério.

Figura 12 - Biodigestor residencial



Fonte: Recolast (2017)

Segundo Recolast (2017), o biodigestor residencial, possui a dimensão de 2m^3 (40 L de matéria orgânica sendo 20 L resíduos e 20 L de água), equivalente a 2 botijões de gás/mês, podendo apresentar variações para mais ou para menos, dependendo do tipo de biomassa, temperatura, tamanho das partículas e movimentação do resíduo. O biodigestor é dividido em 2 partes: o digestor anaeróbio (1) onde se concentram as bactérias e os resíduos orgânicos e o gasômetro na parte superior (2), onde é armazenado o gás gerado. Além de uma saída para o biofertilizante, uma conexão para a saída de gás (4).

O orçamento realizado pela empresa Recolast em 2022, informa que o biodigestor residencial de 1m^3 custa R\$3.497,00, com uma vida útil de 10 a 15 anos.

O valor inclui a compra do biodigestor, triturador de resíduos, adaptadores, mangueira

para fogão, papel alumínio, frete de transporte dos equipamentos e um valor para possíveis emergências.

Observa-se que a instalação pode ser realizada pelo próprio usuário através do manual de instruções, além da isenção do valor de manutenção, visto que a mesma pode ser realizada pelo próprio usuário.

4 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta os valores obtidos na caracterização físico-química dos resíduos. Os teores de umidade e cinzas observados foram coerentes com os dados da literatura. Mathias *et al.* (2014) avaliaram o teor de umidade dos resíduos, obtendo valores entre 82,6 % e 83,6 % para o bagaço de malte, e 3,85 % de cinzas.

O trub quente apresentou o maior teor de umidade entre os resíduos analisados, resultado que pode ser explicado pela coagulação de proteínas de elevada massa molar que perdem água em temperaturas elevadas (Mathias, 2014). Os valores de umidade para o trub variaram entre 86,9 % e 87,9 %, enquanto o teor de cinzas foi de 2,00 %.

Para a levedura residual, obtida em sua forma pastosa logo após a remoção dos tanques de fermentação, Pinto *et al.* (2013) relataram valores médios de 74 % de umidade e 2 % de cinzas.

Segundo Gonçalves (2014), a digestão anaeróbia é um processo de conversão microbiológica que ocorre em ambiente aquoso. Portanto, resíduos com altos teores de umidade podem ser utilizados diretamente na geração de energia, sem a necessidade de pré-tratamento.

Tabela 2 - Caracterização físico-química dos resíduos

Amostra	Umidade (%)	Cinza (%)
BM	73,16 ± 1,8	0,73 ± 0,1
LV	90,22 ± 3,2	0,75 ± 0,1
TB	94,33 ± 0,2	0,6 ± 0,4

Legenda: BM = bagaço de malte; LV = levedura residual; TB = trub quente.

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Santos *et al.* (2003) avaliaram o teor de umidade e cinzas do bagaço cervejeiro, constituído de 80% de malte de cevada e 20% de milho, obtendo valores entre 76,8% e 79,9% para umidade e entre 3,4% e 4% de cinzas.

Zhaoxia *et al.* (2012), encontraram o teor de água de 79% e de cinzas para em média 4,4% para o bagaço de malte de cervejaria de grande porte.

Segundo Bin (2010), os teores de cinzas elevados não são atrativos, visto que os mesmos afetam a hidrólise ácida, aumentando assim, o consumo de ácidos. Adicionalmente, altos teores de cinzas podem inibir a hidrólise enzimática, uma vez que os cátions presentes nas cinzas podem afetar o processo de biodigestão.

Segundo Gonçalves (2014), o teor de umidade se classifica como um dos mais importantes parâmetros para de produção de metano através da digestão anaeróbia, pois, as

reações químicas dependem da água, garantindo-se o equilíbrio entre o teor de sólidos de 30% e o teor de umidade de 70%. Caso a percentagem de umidade seja significativamente inferior a 70%, esta pode levar a estabilização e até mesmo à inibição do processo. Sendo assim, pode-se constatar que a composição dos resíduos propiciou valores satisfatórios para o teor de cinzas e umidade.

Tabela 3 - Análise da DQO, DBO, Fator de Biodegradabilidade e Ph

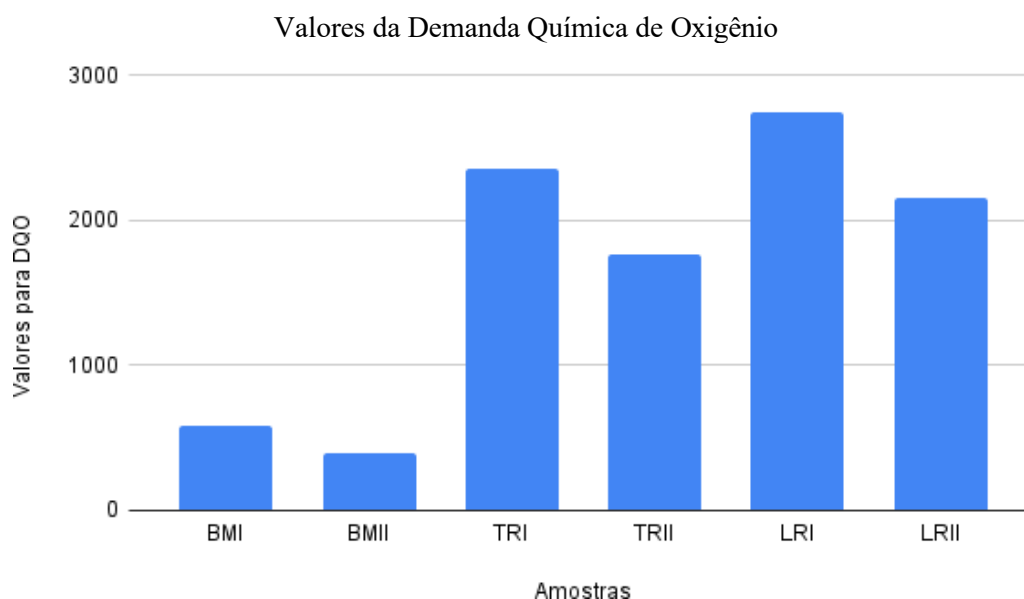
Amostra	DQO (mg O ₂ /L)	DBO (mg O ₂ /L)	Fator de Biodegradabilidade	pH
BM	490,19 ±138,64	1058	3,32	5,8
LV	2058,82 ±415,94	3268	2,44	5,9
TB	3159,98±418,94	4949	2,41	6,2

Fonte: Autora (2020)

Os valores encontrados para DQO, apresentados na Tabela 3 são ligeiramente semelhantes aos encontrados na literatura, Segundo Mathias (2014), os valores para o bagaço de malte, trub quente e levedura residual foram respectivamente 1092 mgO₂/L, 1450 mgO₂/L, 1308 mgO₂/L. As diferenças em determinados valores justificam-se pela forma na qual o resíduo foi obtida, temperatura de armazenamento e teor de umidade dos resíduos. A figura 13 mostra a comparação entre a DQO das amostras analisadas.

Os valores medidos para o pH evidenciam a necessidade de ajuste desse parâmetro para a produção de biogás com os resíduos de bagaço de malte (BM) e trub quente (TB), visto que o pH de um reator anaeróbio não deve ultrapassar 7,6 nem estar abaixo de 6,0. No entanto, durante a fase metanogênica, é necessário manter o pH acima de 6,6, conforme indicado por Gonçalves (2014).

Figura 13 - Valores da Demanda Química de Oxigênio



Fonte: Autora (2020)

Analisou-se o Fator de Degradabilidade, considerando-se as amostras compatíveis com efluentes para a realização dos cálculos da relação entre os valores da DQO e DBO. Sendo assim, constatou-se que os valores para levedura residual e trub quente, respectivamente 2,4 e 2,44, encontram-se na margem de alta degradabilidade. Todavia, o bagaço residual apresentou valores de degradabilidade ligeiramente maiores que os dos demais resíduos. No entanto, considera-se que os valores são relativamente baixos. Segundo Jardim (2004), a faixa de 3,32 é considerada crítica, exigindo cuidados na escolha do processo biológico para garantir a remoção desejável da carga orgânica.

Considerando o trabalho desenvolvido por Queiroz *et al.* (2018), a relação entre a DQO e a produção de biogás é de $0,35 \text{ m}^3 \text{ de CH}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ DQO removido}$.

No momento da realização dos cálculos do *payback*, o preço em relação à demanda anual de gastos 378 litros de GLP eram vendidos pelo valor de R\$1440,00, em Julho/2022. Sendo assim, para o cálculo de *payback* simples, subtraiu-se o valor do gasto anual com GLP, do investimento inicial de R\$3.497,00, como mostra a tabela 4.

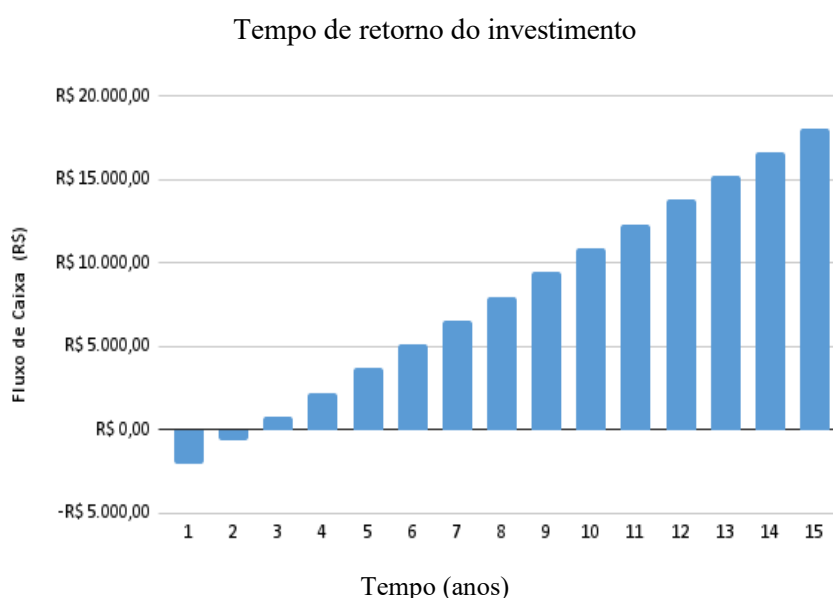
Tabela 4 - Cálculo do *Payback*

Ano	Fluxo
0	-R\$ 3.497,00
1	-R\$ 2.057,00
2	-R\$ 617,00
3	R\$ 823,00
4	R\$ 2.263,00
5	R\$ 3.703,00
6	R\$ 5.143,00
7	R\$ 6.583,00
8	R\$ 8.023,00
9	R\$ 9.463,00
10	R\$ 10.903,00
11	R\$ 12.343,00
12	R\$ 13.783,00
13	R\$ 15.223,00
14	R\$ 16.663,00
15	R\$ 18.103,00

Fonte: Autora (2020)

Através do cálculo, constatou-se que o valor do investimento inicial poderia ser recuperado a partir do terceiro ano, conforme representado na Figura 14. A partir desse ponto, o sistema começa a gerar lucros, acumulando retornos positivos ao longo dos 15 anos de vida útil estimada do equipamento. Esse tempo de retorno reforça a viabilidade econômica do uso do biodigestor residencial, considerando os custos com GLP evitados.

Figura 14 - Tempo de retorno do investimento



Fonte: Autora (2020)

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 5, observa-se que o bagaço de malte (BM) apresentou o maior teor de proteínas, com $5,02 \pm 1,3\%$, seguido pelo trub quente (TB), com $4,32 \pm 0,9\%$, e pela levedura residual (LV), com $3,13 \pm 0,5\%$. Esses dados indicam que o bagaço de malte, apesar de apresentar menor fator de biodegradabilidade em comparação aos demais resíduos, possui um elevado potencial de reaproveitamento como fonte de proteína, o que o torna um resíduo promissor para aplicação na alimentação animal ou outros fins biotecnológicos.

Essa abordagem integrada considera não apenas a produção de biogás, mas também o aproveitamento proteico, o que amplia as possibilidades de valorização dos resíduos agroindustriais, promovendo uma gestão mais eficiente e sustentável.

Tabela 5 - Teor de Proteínas totais

Amostra	Proteína (%)
BM	$5,02 \pm 1,3$
LV	$3,13 \pm 0,5$
TB	$4,32 \pm 0,9$

Fonte: Autora (2020)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os elevados valores de DQO e DBO indicam a impossibilidade de disposição destes resíduos no ambiente sem tratamento prévio, uma vez que poderão alterar significativamente as características nutricionais do ecossistema. Todavia, os valores são adequados para o reaproveitamento dos resíduos para produção de biogás.

Por sua vez, o trub, apesar de apresentar menores valores de Biodegradabilidade, ainda assim, apresenta alta carga proteica podendo ser reutilizado para fins alimentícios. Para os valores de fator de biodegradabilidade encontrados, pode-se constatar que os mais promissores para a produção de biogás foram a levedura residual e o bagaço de malte uma vez que, encontravam-se abaixo da faixa de 2,5, o que é considerado num espectro de Biodegradabilidade, um valor adequado

Os valores de pH explicitam a necessidade do ajuste do mesmo, fazendo-se necessário valores abaixo de 7,6 e acima de 6 para que o processo de biodigestão ocorra em condições ideais. O teor de cinzas deve ser

Os teores de umidade dos resíduos indicaram valores adequados para a produção de metano, visto que as reações químicas anaeróbias dependem da água, sendo assim não há necessidade de pré-tratamento dos resíduos, podendo ser utilizados na forma em que são obtidos após o descarte.

Além disso, a partir dos dados avaliados através do cálculo do *payback*, observou-se que o valor de investimento inicial proposto pela avaliação, traria retorno em aproximadamente três anos, proporcionando lucro ao empresário pelos próximos doze anos restantes, dependendo de como for feita a manutenção do equipamento em questão. O investimento em um biodigestor, além de propor uma diminuição de gastos em longo prazo, também traria um novo fim aos resíduos que seriam descartados de forma incorreta no meio ambiente, além de propor uma alternativa de produção de energia limpa e renovável.

Pode-se averiguar que apesar do trub não apresentar resultados promissores para a produção de biogás, o resíduo, possui alta carga proteica, podendo ser utilizado em alternativas como: enriquecimento nutricional para alimentação animal. Os demais resíduos também apresentaram alta carga proteica, o que justifica a reutilização desses resíduos para a alimentação humana quando o biodigestor estiver operando em sua carga máxima.

REFERÊNCIAS

ALIYU, Salihu; BALA, Muntari. Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications. *African Journal of Biotechnology*, v. 10, n. 3, p. 324-331, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228356074_Brewer's_spent_grain_A_review_of_its_potentials_and_applications. Acesso em: 17 abr. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CERVEJA – CERVBRASIL. *Anuário da Cerveja 2020*. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2020. Disponível em: http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/http-www-cervbrasil-org-br-novo_site-wp-content-uploads-2021-04-anuariocerveja2-pdf/. Acesso em: 8 abr. 2022.

AVELAR, L. H. N. *A valorização dos subprodutos agroindustriais visando a cogeração e a redução da poluição ambiental*. 2001. 111 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Guaratinguetá, 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Fernanda-Figueiredo-2/publication/334454771_Analise_energetica_de_geracao_de_bioenergia_a_partir_de_biogas/links/5d2b93fca6fdcc2462e0d9d1/Analise-energetica-de-geracao-de-bioenergia-a-partir-de-bio. Acesso em: 7 jul. 2022.

BELANDI, Caio. Impulsionado pelas mulheres, o consumo de álcool cresce entre brasileiros em 2019. *Agência IBGE Notícias*, Rio de Janeiro, 18 nov. 2020. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/29472-impulsionado-pelas-mulheres-consumo-de-alcool-cresce-entre-brasileiros-em-2019>. Acesso em: 19 jan. 2022.

BIN, Yu; HONGZHANG, Chen. Effect of the ash on enzymatic hydrolysis of steam-exploded rice straw. *Bioresource Technology*, v. 101, n. 23, p. 9114-9119, dez. 2010. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.07.033. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20685116/>. Acesso em: 17 mar. 2022.

BIOGÁS, CI. *Biogás no Setor Cervejeiro: Nota Técnica*. Biogás Brasil, 5 ago. 2022. Disponível em: <https://cibiogas.eadplataforma.app/curso/biogas-no-setor-cervejeiro>. Acesso em: mar.-dez. 2022.

BLEIER, B. et al. *Craft Beer Production*. University of Pennsylvania. Filadélfia: [s.n.], 2013. 565 p. Disponível em: <http://www.ojs.toledo.br/index.php/engenharias/article/view/3505>. Acesso em: 12 mar. 2022.

BRAGA, Erika; AQUINO, Marisete Dantas de; MALVEIRA, Jackson. Avaliação da biodegradabilidade das águas de lavagem provenientes da etapa de purificação do biodiesel produzido com óleo extraído das vísceras de tilápia. [S.l.], 2 dez. 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/59656>. Acesso em: 19 mar. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Setor cervejeiro segue crescendo a cada ano, aponta anuário. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/setor-cervejeiro-segue-crescendo-a-cada-ano-aponta-anuario>. Acesso em: 24 jun. 2022.

BRUNELLI, Luciana Trevisan; MANSANO, Alexandre Rodrigues; VENTURINI FILHO, Waldemar Gastoni. Caracterização físico-química de cervejas elaboradas com mel. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 17, p. 19-27, 2014. Disponível em: <https://acervodigital.unesp.br/handle/11449/110123>. Acesso em: 2 abr. 2022.

CHERNICHARO, C. A. L. *Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. 2. ed. v. 5. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/kqcnsqSJwrcggRFRpy3SHzc/>. Acesso em: 7 abr. 2022.

COELHO, José Mauro. Programa Combustível do Futuro. Brasil dá mais um passo na liderança da transição energética mundial. [S.l.], 3 maio 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/programa-combustivel-do-futuro-brasil-da-mais-um-passo-na-lideranca-da-transicao-energetica-mundial>. Acesso em: 15 jun. 2022.

DA SILVA, Maria Carolina Miranda Ferreira; NASCIMENTO, Mylena Andrade do; ELIZÁRIO, Sayonara Andrade. Produção de biogás a partir dos resíduos de uma cervejaria artesanal. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://periodicos.unifei.edu.br/>. Acesso em: 22 mar. 2022.

DOMINGOS, Bruna dos Santos et al. Estudo de payback simples para a substituição do gás liquefeito de petróleo pelo biogás em uma unidade hospitalar em Minas Gerais. *Anais do IX SIMPROD*, 2017. Acesso em: 15 mar. 2022.

DRAGONE, G.; ALMEIDA E SILVA, J. B. Cerveja. In: VENTURINI FILHO, W. G. *Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 2010. Cap. 2, p. 15-50. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=697158&biblioteca=vazio>. Acesso em: 22 abr. 2022.

EL-DEIR, Soraya Giovanetti. *Resíduos sólidos: perspectivas e desafios para a gestão integrada*. 2014. Disponível em: <https://repository.ufrpe.br/handle/123456789/2402>. Acesso em: 17 jun. 2022.

ETHERIDGE, Stephen P. Biogas use in industrial anaerobic wastewater treatment. *Energy from Biogas*, p. 23-24, 2003. Disponível em: <https://online-learning.tudelft.nl/courses/high-rate-anaerobic-wastewater-treatment/>. Acesso em: 10 mar. 2022.

FERNANDES, Gláucia; MARIANI, Leidiane. O alto potencial de produção e uso fará do biogás a próxima fronteira da energia renovável no Brasil. 2019. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/items/9a47a4b4-fa66-480c-9db3-42e1ac070e92>. Acesso em: 18 mar. 2022.

GONÇALVES, Imanuel Rodrigues. *Estudo da produção de biogás a partir de resíduos alimentares*. 2014. Dissertação (Mestrado). Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/659928>. Acesso em: 22 abr. 2022.

ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade. *Manual para aproveitamento do biogás: volume dois – efluentes urbanos*. São Paulo: ICLEI América Latina, 2010. Disponível em: <https://e-lib.iclei.org/manual-para-aproveitamento-de-biogas-volume-ii-efluentes-urbanos/>. Acesso em: 5 mai. 2022.

JARDIM, Wilson F.; CANELA, Maria Cristina. *Fundamentos da oxidação química no tratamento de efluentes e remediação de solos*. Campinas: UNICAMP, 2004. Acesso em: 18 jul. 2022.

LUTZ, Instituto Adolfo. *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. São Paulo: ANVISA, 2008. Disponível em: <http://repositorio.asc.es.br/handle/123456789/2001>. Acesso em: 12 mar. 2022.

MARCUSSO, Eduardo Fernandes; MULLER, Carlos Vitor. A cerveja no Brasil. *O Ministério da Agricultura*, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/23041>. Acesso em: 5 jun. 2022.

MATHIAS, T. R. S.; MELLO, P. P. M. de; SERVULO, E. F. C. Caracterização de resíduos cervejeiros. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Química*, 2014. p. 1-8. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/caracterizacao-de-resduos-cervejeiros-17098>. Acesso em: 19 jun. 2022.

MORADO, R. *Larousse da Cerveja*. 1. ed. São Paulo: Larousse do Brasil, 2011. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/larousse-da-cerveja-a-historia-e-as-curiosidades-de-uma-das-bebidas-mais-populares-do-mundo-by-ronaldo-morado-pdf-free.html>. Acesso em: 13 mai. 2022.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta; CAPAZ, Rafael Silva; LORA, Electo Silva. Bioenergia no Brasil: onde estamos e quais nossos horizontes. *Revista Brasileira de Energia*, n. 27, p. 2, 2021. Disponível em: <https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/640>. Acesso em: 10 abr. 2022.

OLIVEIRA, João Vítor; ALVES, M. M.; COSTA, J. C. Biochemical methane potential of brewery by-products. *Clean Technologies and Environmental Policy*, v. 20, n. 2, p. 435-440, 2018. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/51651>. Acesso em: 15 mar. 2022.

OLAJIRE, Abass A. The brewing industry and environmental challenges. *Journal of Cleaner Production*, v. 256, p. 102817, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652612001369>. Acesso em: 18 jun. 2022.

PAINI, Vinicius. Geração de biogás a partir da utilização de resíduos orgânicos da indústria alimentícia do ramo de candies. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: <https://www.univates.br/bdu/items/0405d7ff-8f0d-4c62-a704-440f2da11b36>. Acesso em: 25 mar. 2022.

PAPAZIAN, Charlie. *Home brewer's companion*. Quill/Harper, 2002. Disponível em: <https://archive.org/details/homebrewerscompa00papa>. Acesso em: 12 abr. 2022.

PASSAGLIA, Rúbia Carla. Estudo de viabilidade econômica de geração de biogás para atender as necessidades de energia elétrica de uma unidade de suinocultura. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/304548030_Viabilidade_economica_da_producao_de_biogas_de_dejetos_suinos_um_estudo_de_caso. Acesso em: 7 jul. 2022.

PEREIRA, Érika Carvalho et al. Geração de biogás a partir da biomassa do malte da fabricação de cervejas artesanais. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 10, p. 99933-99946, 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/38289>. Acesso em: 19 abr. 2022.

PINTO, L. C. et al. Determinação do valor nutritivo de derivados de levedura de cervejaria (*Saccharomyces spp.*). *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 15, n. 1, p. 7-17, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/277939630_Determinacao_do_valor_nutritivo_de_derivados_de_levedura_de_cervejaria_Saccharomyces_spp. Acesso em: 12 jun. 2022.

POMPERMAYER, Raquel de Souza; PAULA JUNIOR, Durval Rodrigues de. Estimativa do potencial brasileiro de produção de biogás através da biodigestão da vinhaça e comparação com outros energéticos. In: *Proceedings of the 3. Encontro de Energia no Meio Rural*, 2000. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/330405626_biodigestores_VIABILIDADES_TECNICAS_DE_IMPLANTACAO_UTILIZACAO_VANTAGENS_E_DESVANTAGENS. Acesso em: 28 jun. 2022.

QUEIROZ, Camila Kelly de; PAES, Juliana Lobo; FERNANDES, Pedro Luis Belfort Gomes. Caracterização da produção de biogás a partir da biodigestão de lodo de esgoto. In: *VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – CBENS 2018*, 2018. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/601>. Acesso em: 7 mai. 2024.

RABELLO, F. F. P. Produção de cerveja. *Revista Agrogeoambiental*, Inconfidentes, n. 3, p. 145-155, dez. 2009. Disponível em: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/224>. Acesso em: 8 mai. 2024.

SANTOS, M. et al. Variability of brewer's spent grain within a brewery. *Food Chemistry*, v. 80, n. 1, p. 17-21, 2003. Disponível em:

<https://www.semanticscholar.org/paper/ae0631eea0542c3721c1a40dde7443bbda44c550>. Acesso em: 8 mai. 2024.

PORTES, Amanda Costa. Pré-tratamento de efluente de microcervejaria por adsorção empregando adsorventes alternativos. 2016. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3034>. Acesso em: 10 mar. 2022.

WALTER, William G. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 1961. Disponível em: <https://ajph.aphapublications.org/doi/10.2105/AJPH.51.6.940-a>. Acesso em: 15 jun. 2022.

YAMADA, Eunice Akemi et al. Composição centesimal e valor protéico de levedura residual da fermentação etanólica e de seus derivados. *Revista de Nutrição*, v. 16, p. 423-432, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rn/a/3KRqWh5Fn7LpYRs8Tw5hfsD/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 18 jul. 2022.

ZHAOXIA et al. Techniques optimization of combined enzymatic hydrolysis on brewers' spent grain from Novozymes. *Journal of Life Sciences*, v. 6, n. 11, p. 1232, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/24199447_Enzymatic_Solubilization_of_Brewers'_Spent_Grain_by_Combined_Action_of_Carbohydrases_and_Peptidases. Acesso em: 20 jun. 2022.

Anexo 1 – Artigo Completo

Universidade Federal do Pampa - Campus Bagé

Curso de Engenharia de Energia

Trabalho de Conclusão de Curso

Caracterização de resíduos da Indústria Cervejeira para Avaliação do Potencial de Produção de Biogás

Universidade Federal do Pampa, Curso de Engenharia de Energia E-mail:

marianacastrillon.aluno@unipampa.edu.br

1 INTRODUÇÃO

Já foi amplamente demonstrado na literatura que o biogás é um biocombustível alternativo competitivo e confiável para geração de energia. Como o biogás pode ser gerado a partir de diferentes resíduos orgânicos pode contribuir para correta destinação e tratamento de resíduos urbanos, industriais e da agropecuária, ou seja, é um grande aliado do saneamento ambiental. Além disso, por meio da queima do biogás, converte-se o CH_4 em gás carbônico, CO_2 e água (H_2O). Apesar de haver formação de CO_2 as quantidades emitidas são inferiores daquelas geradas pela combustão de GLP, gasolina ou óleo diesel (Fernandes, 2019). Segundo Domingos (2017), o biogás pode ser usado para a geração de energia elétrica, térmica e mecânica. A principal intenção no uso do biogás é substituir os gases de origem mineral (fóssil) como o GLP, usado como gás de cozinha, GN (Gás Natural) usado em equipamentos domésticos e GNV (Gás Natural Veicular). Sendo assim, o biogás pode ser empregado nos mais variados tipos de produtos, como em fogões domésticos e/ou industriais, lampiões, motores de combustão interna (automóveis), geladeiras, chocadeiras, secadores de grãos ou secadores diversos e aquecimento e balanço calorífico. O aumento do consumo de cerveja, tem como consequência o maior volume de resíduos gerados. As questões que englobam os problemas relacionados ao manejo sustentável dos resíduos sólidos urbanos (RSU) são alvo de vários estudos, sendo assim, a abordagem dessas problemáticas no Brasil se baseiam na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), cujo intuito é determinar como os setores industriais,

independente de serem públicos ou privados, ajam diante os processos que tangenciam a geração de resíduos sólidos desde a geração até o descarte e tratamento (EL-DEIR, 2014). Sendo assim, propõe-se neste trabalho caracterizar por análises físico-químicas os resíduos de cervejaria supracitados visando a utilização como matéria prima para produção de biogás através da digestão anaeróbia.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os resíduos utilizados foram doados pela empresa Bosco Beer, localizada no município de Bagé - RS. A cervejaria gera em média 160 kg de resíduos mensalmente. Logo após os processos de obtenção, os materiais foram colocados em recipientes previamente sanitizados e imediatamente congelados com o intuito de evitar quaisquer contaminações que pudessem implicar nos resultados finais das análises. Todas as análises descritas a seguir foram realizadas no mínimo em duplicata, com resultados expressos em seus valores médios e respectivos desvios. Os resíduos foram obtidos a partir de uma cerveja do estilo Pilsen, cuja composição é malte *Pilsen*, lúpulo, água e levedura.

2.1 Determinação do Teor de Umidade

O procedimento para determinação do teor de umidade permitiu determinar a quantidade de água presente na matéria orgânica. A metodologia empregada foi a secagem direta em estufa a 105°C (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008; INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985). O experimento foi realizado em triplicata com, aproximadamente, 3 g de amostras.

2.2 Teor de Cinzas

Utilizou-se o método de Instituto Adolfo Lutz (2008), onde a temperatura de incineração da matéria prima é em média 550°, através da técnica de incineração em mufla. Foram pesadas aproximadamente 3g de amostras.

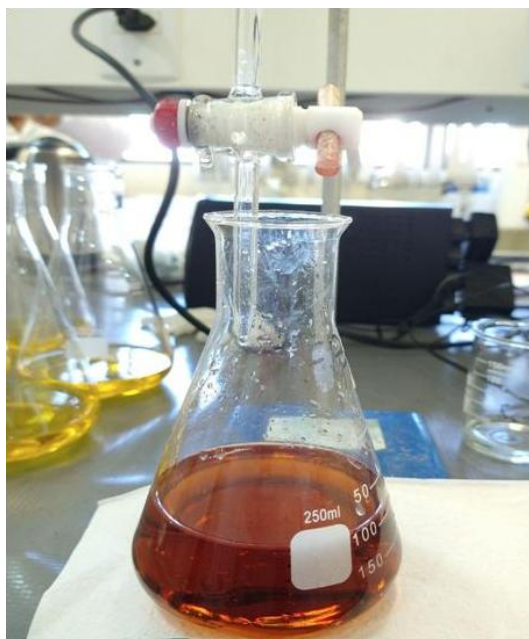
2.3 Teor de Proteínas

O teor de proteínas foi determinado de acordo com o Instituto Adolfo Lutz (2008), a determinação do teor total de proteínas é feita através do método de Kjeldahl, que consistem respectivamente na digestão dos compostos nitrogenados presentes na amostra, seguida da destilação e titulação da amônia, resultando no teor de proteínas totais (%).

2.4 Demanda Química de Oxigênio

Determinou-se a DQO utilizando o método de APHA, 2005. Diluiu-se em 1g de amostra em 1l de água destilada, com o intuito de equalizar a concentração da solução, promovendo resultados mais precisos. A Figura 1 mostra a titulação com sulfato ferroso amoniacal.

Figura 1: Titulação com o Sulfato Ferroso Amoniacal



Fonte: Autora (2020)

2.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio

Para a determinação da DBO, utilizou-se a metodologia descrita em APHA (2005)., com o auxílio do medidor DBO: Sistema DBO Aqualytic AL606 e incubadora BOD Oxylab OXY- 101 e medidor de pH. Determinando-se a quantidade de oxigênio necessária para a degradação bioquímica da matéria orgânica durante o período de incubação de cinco dias, além da estimativa de deგრabilidade que pode ser calculada a partir da equação 1

2.6 Biodegradabilidade

A estimativa da biodegradabilidade foi calculada pela na Equação 1:

$$F_b = DBO/0,65 \times DQO \quad (1)$$

Onde:

A constante 0,65 é adotada para efluentes primários industriais.

Fb = fator de biodegradabilidade.

2.7 Cálculo da Viabilidade Econômica Através do *Payback* Simples em Plantas de Biogás

O *payback* simples teve o intuito de avaliar economicamente o investimento inicial da troca do gás GLP pelo biogás produzido pelos resíduos que seriam descartados pela cervejaria. Pereira, 2021 realizou ensaios de biodigestores contendo inóculos (esterco bovino) e ensaios contendo apenas o bagaço residual de malte, no entanto, observou-se que as melhores correspondências foram provenientes dos ensaios contendo somente o bagaço residual do malte produzindo um volume de 169 mL de CH₄ para 0,3 kg de bagaço de malte. A equivalência energética do biogás em relação a outros energéticos foi determinada levando-se em conta o poder calorífico e a eficiência média de combustão, sendo assim, considerou-se constatar que a equivalência energética de 1 m³ de biogás corresponde a 0,572 m³ de GLP (Pompermayer *et al.*, 2003). Tendo em vista que o consumo médio de GLP da cervejaria para atividades que utilizam GLP é de aproximadamente 0,0315m³ de GLP por mês, considerando-se o equivalente energético a demanda seria de 0,0549m³ de biogás por mês. Sendo assim, a seleção do biodigestor foi baseada nesse critério.

Para objeto de estudo, escolheu-se o biodigestor residencial Recolast, representado na Figura 13 levando-se em conta fatores como: Espaço disponível, quantidade média de produção de resíduos e demanda de biogás a ser suprida.

Segundo Recolast (2017), o biodigestor residencial, possui a dimensão de 2m³ (40 L de matéria orgânica sendo 20 L resíduos e 20 L de água), equivalente a 2 botijões de gás/mês, podendo apresentar variações para mais ou para menos, dependendo do tipo de biomassa, temperatura, tamanho das partículas e movimentação do resíduo. O biodigestor é dividido em 2 partes: o digestor anaeróbio (1) onde se concentram as bactérias e os resíduos orgânicos e o gasômetro na parte superior (2), onde é armazenado o gás gerado. Além de uma saída para o biofertilizante, uma conexão para a saída de gás (4). O orçamento realizado pela empresa Recolast em 2022, informa que o biodigestor residencial de 1m³ é R\$3.497,00, com uma vida útil de 10 a 15 anos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores obtidos nas caracterizações químicas dos resíduos. Os valores encontrados para os teores de umidade e cinzas dos resíduos são coerentes com os

dados da literatura. Mathias *et al.*, (2014) avaliaram o teor de umidade dos resíduos obtendo-se o valor entre 82,6% e 83,6% de umidade para o bagaço de malte e para cinzas 3,85%. O trub quente apresentou o maior valor de umidade entre todos os resíduos estudados, fato que pode ser justificado pela coagulação de proteínas de elevada massa molar que perdem água na solvatação em elevadas temperaturas (Barchet, 1993). Segundo Mathias (2014) os valores de umidade para o trub quente foram de 86,9% e 87,9%, já para cinzas, encontrou-se o valor de 2,00%. Para a levedura residual obtida em sua forma pastosa, logo após a remoção dos tanques de fermentação, os valores médios do teor de umidade e cinzas para Pinto *et. al.* (2013) foram respectivamente 74% de umidade e 2% para o teor de cinzas.

Segundo Gonçalves (2014), a digestão anaeróbica é um processo de conversão microbiana que ocorre em ambiente aquoso, sendo assim, os resíduos que contêm níveis elevados de água podem ser convertidas em energia sem ser necessário qualquer pré-tratamento.

Tabela 1: Caracterização física química dos resíduos

Amostra	Umidade (%)	Cinza (%)
BM	73,16±1,8	0,73±0,1
LV	90,22±3,2	0,75±0,1
TB	94,33±0,2	0,6±0,4

Fonte: Autora (2020)

Santos *et al.*, (2003) avaliaram o teor de umidade e cinzas do bagaço cervejeiro, constituído de 80% de malte de cevada e 20% de milho, onde se obteve valores entre 76,8 e 79,9%, para umidade e entre 3,4 e 4% de cinzas. Zhaoxia *et al.*, (2012) encontraram o teor de água de 79% e de cinzas para em média 4,4% para o bagaço de malte de cervejaria de grande porte. Segundo Bin (2010), teores de cinzas elevados não são atrativos, visto que os mesmos afetam a hidrólise ácida, aumentando assim, o consumo de ácidos. Adicionalmente, altos teores de cinzas podem inibir a hidrólise enzimática, uma vez que os cátions presentes nas cinzas podem afetar o processo de biodigestão. Segundo Gonçalves (2014), o teor de umidade se classifica como um dos mais importantes parâmetros para de produção de metano através da digestão anaeróbia, pois, as reações químicas dependem da água, garantindo-se o equilíbrio entre o teor de sólidos de 30% e o teor de umidade de 70%. Caso a percentagem de umidade seja significativamente inferior a 70%, esta pode levar a estabilização e até mesmo à inibição do processo. Sendo assim, pode-se constatar que a composição dos resíduos propiciou valores satisfatórios para o teor de cinzas e umidade.

Tabela 2: Análise da DQO, DBO, Fator de Biodegradabilidade e pH

Amostra	DQO (mg O ₂ /L)	DBO (mg O ₂ /L)	Fator de Biodegradabilidade	pH
BM	490,19 ±138,64	1058	3,32	5,8
LV	2058,82 ±415,94	3268	2,44	5,9
TB	3159,98±418,94	4949	2,41	6,2

Legenda: BM = bagaço de malte; LV = levedura residual; TB = trub quente.

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Analisou-se o Fator de Degradabilidade, considerando-se as amostras compatíveis com efluentes para a realização dos cálculos da relação entre valores da DQO e DBO. Sendo assim, constatou-se que os valores para levedura residual e trub quente, respectivamente, 2,4 e 2,44, encontram-se na margem de alta degradabilidade, todavia, o bagaço residual apresentou valores de degradabilidade ligeiramente maiores que os demais resíduos, no entanto, considera-se que os valores são relativamente baixos, no entanto, segundo Jardim e Canela (2004), a faixa de 3,32 considera que o efluente irá exigir cuidados na escolha do processo biológico para que se tenha uma remoção desejável de carga orgânica. Considerando o trabalho desenvolvido por Queiroz *et al.*, (2018), para a relação entre a DQO e a produção de biogás de 0,35 m³de CH₄kg⁻¹ DQO removido (Queiroz *et al.*, 2018). No momento da realização dos cálculos do payback, o preço em relação à demanda anual de gastos 378 litros de GLP eram vendidos pelo valor de R\$1440,00, em Julho/2022. Sendo assim, para o cálculo de *payback* simples, subtraiu-se o valor do gasto anual com GLP, do investimento inicial de R\$3.497,00, como mostra a tabela 3.

Tabela 4: Cálculo do *Payback*

Ano	Fluxo
0	-R\$ 3.497,00
1	-R\$ 2.057,00
2	-R\$ 617,00
3	R\$ 823,00
4	R\$ 2.263,00
5	R\$ 3.703,00
6	R\$ 5.143,00
7	R\$ 6.583,00
8	R\$ 8.023,00
9	R\$ 9.463,00
10	R\$ 10.903,00
11	R\$ 12.343,00
12	R\$ 13.783,00
13	R\$ 15.223,00
14	R\$ 16.663,00
15	R\$ 18.103,00

Fonte: Autora (2020)

Através do cálculo constatou-se que o valor de investimento poderia ser retornado no a partir do terceiro ano e obtendo-se lucros pelos próximos 15 anos de vida útil do tendo em vista o tempo médio de duração do equipamento

Calculou-se o teor de proteínas totais com o intuito de avaliar um novo fim para o resíduo que não obteve valor satisfatório para o Fator de Biodegradabilidade, mostrando seu reaproveitamento mais promissor para fins alimentícios.

Tabela 5: Teor de Proteínas totais

Amostra	Proteína (%)
BM	5,02 ±1,3
LV	3,13 ±0,5
TB	4,32±0,9

Fonte: Autora (2020)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os elevados valores de DQO e DBO indicam a impossibilidade de disposição destes resíduos no ambiente sem tratamento prévio, uma vez que poderão alterar significativamente as características nutricionais do ecossistema. Todavia, os valores são adequados para o reaproveitamento dos resíduos para produção de biogás.

Por sua vez, o trub, apesar de apresentar menores valores de Biodegradabilidade, ainda assim, apresenta alta carga proteica podendo ser reutilizado para fins alimentícios. Para os valores de fator de biodegradabilidade encontrados, pode-se constatar que os mais promissores para a produção de biogás foram a levedura residual e o bagaço de malte uma vez que, encontravam-se abaixo da faixa de 2,5, o que é considerado num espectro de Biodegradabilidade, um valor adequado.

Os valores de pH explicitam a necessidade do ajuste do mesmo, fazendo-se necessário valores abaixo de 7,6 e acima de 6 para que o processo de biodigestão ocorra em condições ideais.

Os teores de umidade dos resíduos indicaram valores adequados para a produção de metano, visto que as reações químicas anaeróbias dependem da água, sendo assim não há necessidade de pré-tratamento dos resíduos, podendo ser utilizados na forma em que são obtidos após o descarte.

Além disso, a partir dos dados avaliados através do cálculo do *payback*, observou-se que o valor de investimento inicial proposto pela avaliação, traria retorno em aproximadamente três anos, proporcionando lucro ao empresário pelos próximos doze anos restantes, dependendo de como for feita a manutenção do equipamento em questão.

REFERÊNCIAS

ALIYU, Salihu; BALA, Muntari. Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications. *African Journal of Biotechnology*, v. 10, n. 3, p. 324-331, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228356074_Brewer's_spent_grain_A_review_of_its_potentials_and_applications. Acesso em: 17 abr. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CERVEJA – CERVBRAZIL. *Anuário da Cerveja 2020*. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2020. Disponível em: http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/http-www-cervbrasil-org-br-novo_site-wp-content-uploads-2021-04-anuariocerveja2-pdf/. Acesso em: 8 abr. 2022.

AVELAR, L. H. N. *A valorização dos subprodutos agroindustriais visando a cogeração e a redução da poluição ambiental*. 2001. 111 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Guaratinguetá, 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Fernanda-Figueiredo-2/publication/334454771_Analise_energetica_de_geracao_de_bioenergia_a_partir_de_biogas/links/5d2b93fca6fdcc2462e0d9d1/Analise-energetica-de-geracao-de-bioenergia-a-partir-de-bio. Acesso em: 7 jul. 2022.

BELANDI, Caio. Impulsionado pelas mulheres, o consumo de álcool cresce entre brasileiros em 2019. *Agência IBGE Notícias*, Rio de Janeiro, 18 nov. 2020. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/29472-impulsionado-pelas-mulheres-consumo-de-alcool-cresce-entre-brasileiros-em-2019>. Acesso em: 19 jan. 2022.

BIN, Yu; HONGZHANG, Chen. Effect of the ash on enzymatic hydrolysis of steam-exploded rice straw. *Bioresource Technology*, v. 101, n. 23, p. 9114-9119, dez. 2010. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.07.033. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20685116/>. Acesso em: 17 mar. 2022.

BIOGÁS, CI. *Biogás no Setor Cervejeiro: Nota Técnica*. Biogás Brasil, 5 ago. 2022. Disponível em: <https://cibiogas.eadplataforma.app/curso/biogas-no-setor-cervejeiro>. Acesso em: mar.-dez. 2022.

BLEIER, B. et al. *Craft Beer Production*. University of Pennsylvania. Filadélfia: [s.n.], 2013. 565 p. Disponível em: <http://www.ojs.toledo.br/index.php/engenharias/article/view/3505>. Acesso em: 12 mar. 2022.

BRAGA, Erika; AQUINO, Marisete Dantas de; MALVEIRA, Jackson. Avaliação da biodegradabilidade das águas de lavagem provenientes da etapa de purificação do biodiesel produzido com óleo extraído das vísceras de tilápia. [S.l.], 2 dez. 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/59656>. Acesso em: 19 mar. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Setor cervejeiro segue crescendo a cada ano, aponta anuário. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/setor-cervejeiro-segue-crescendo-a-cada-ano-aponta-anuario>. Acesso em: 24 jun. 2022.

BRUNELLI, Luciana Trevisan; MANSANO, Alexandre Rodrigues; VENTURINI FILHO, Waldemar Gastoni. Caracterização físico-química de cervejas elaboradas com mel. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 17, p. 19-27, 2014. Disponível em: <https://acervodigital.unesp.br/handle/11449/110123>. Acesso em: 2 abr. 2022.

CHERNICHARO, C. A. L. *Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. 2. ed. v. 5. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/kqcnsqSJwrcggRFRpy3SHzc/>. Acesso em: 7 abr. 2022.

COELHO, José Mauro. Programa Combustível do Futuro. Brasil dá mais um passo na liderança da transição energética mundial. [S.l.], 3 maio 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/programa-combustivel-do-futuro-brasil-da-mais-um-passo-na-lideranca-da-transicao-energetica-mundial>. Acesso em: 15 jun. 2022.

DA SILVA, Maria Carolina Miranda Ferreira; NASCIMENTO, Mylena Andrade do; ELIZÁRIO, Sayonara Andrade. Produção de biogás a partir dos resíduos de uma cervejaria artesanal. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://periodicos.unifei.edu.br/>. Acesso em: 22 mar. 2022.

DOMINGOS, Bruna dos Santos et al. Estudo de payback simples para a substituição do gás liquefeito de petróleo pelo biogás em uma unidade hospitalar em Minas Gerais. *Anais do IX SIMPROD*, 2017. Acesso em: 15 mar. 2022.

DRAGONE, G.; ALMEIDA E SILVA, J. B. Cerveja. In: VENTURINI FILHO, W. G. *Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 2010. Cap. 2, p. 15-50. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=697158&biblioteca=vazio>. Acesso em: 22 abr. 2022.

EL-DEIR, Soraya Giovanetti. *Resíduos sólidos: perspectivas e desafios para a gestão integrada*. 2014. Disponível em: <https://repository.ufrpe.br/handle/123456789/2402>. Acesso em: 17 jun. 2022.

ETHERIDGE, Stephen P. Biogas use in industrial anaerobic wastewater treatment. *Energy from Biogas*, p. 23-24, 2003. Disponível em: <https://online-learning.tudelft.nl/courses/high-rate-anaerobic-wastewater-treatment/>. Acesso em: 10 mar. 2022.

FERNANDES, Gláucia; MARIANI, Leidiane. O alto potencial de produção e uso fará do biogás a próxima fronteira da energia renovável no Brasil. 2019. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/items/9a47a4b4-fa66-480c-9db3-42e1ac070e92>. Acesso em: 18 mar. 2022.

GONÇALVES, Imanuel Rodrigues. *Estudo da produção de biogás a partir de resíduos alimentares*. 2014. Dissertação (Mestrado). Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/659928>. Acesso em: 22 abr. 2022.

ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade. *Manual para aproveitamento do biogás: volume dois – efluentes urbanos*. São Paulo: ICLEI América Latina, 2010. Disponível em: <https://e-lib.iclei.org/manual-para-aproveitamento-de-biogas-volume-ii-efluentes-urbanos/>. Acesso em: 5 mai. 2022.

JARDIM, Wilson F.; CANELA, Maria Cristina. *Fundamentos da oxidação química no tratamento de efluentes e remediação de solos*. Campinas: UNICAMP, 2004. Acesso em: 18 jul. 2022.

- LUTZ, Instituto Adolfo. *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. São Paulo: ANVISA, 2008. Disponível em: <http://repositorio.asces.edu.br/handle/123456789/2001>. Acesso em: 12 mar. 2022.
- MARCUSSO, Eduardo Fernandes; MULLER, Carlos Vitor. A cerveja no Brasil. *O Ministério da Agricultura*, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/23041>. Acesso em: 5 jun. 2022.
- MATHIAS, T. R. S.; MELLO, P. P. M. de; SERVULO, E. F. C. Caracterização de resíduos cervejeiros. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Química*, 2014. p. 1-8. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/caracterizacao-de-resduos-cervejeiros-17098>. Acesso em: 19 jun. 2022.
- MORADO, R. *Larousse da Cerveja*. 1. ed. São Paulo: Larousse do Brasil, 2011. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/larousse-da-cerveja-a-historia-e-as-curiosidades-de-uma-das-bebidas-mais-populares-do-mundo-by-ronaldo-morado-pdf-free.html>. Acesso em: 13 mai. 2022.
- NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta; CAPAZ, Rafael Silva; LORA, Electo Silva. Bioenergia no Brasil: onde estamos e quais nossos horizontes. *Revista Brasileira de Energia*, n. 27, p. 2, 2021. Disponível em: <https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/640>. Acesso em: 10 abr. 2022.
- OLIVEIRA, João Vítor; ALVES, M. M.; COSTA, J. C. Biochemical methane potential of brewery by-products. *Clean Technologies and Environmental Policy*, v. 20, n. 2, p. 435-440, 2018. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/51651>. Acesso em: 15 mar. 2022.
- OLAJIRE, Abass A. The brewing industry and environmental challenges. *Journal of Cleaner Production*, v. 256, p. 102817, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652612001369>. Acesso em: 18 jun. 2022.
- PAINI, Vinicius. Geração de biogás a partir da utilização de resíduos orgânicos da indústria alimentícia do ramo de candies. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: <https://www.univates.br/bdu/items/0405d7ff-8f0d-4c62-a704-440f2da11b36>. Acesso em: 25 mar. 2022.

PAPAZIAN, Charlie. *Home brewer's companion*. Quill/Harper, 2002. Disponível em: <https://archive.org/details/homebrewerscompa00papa>. Acesso em: 12 abr. 2022.

PASSAGLIA, Rúbia Carla. Estudo de viabilidade econômica de geração de biogás para atender as necessidades de energia elétrica de uma unidade de suinocultura. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/304548030_Viabilidade_economica_da_producao_de_biogas_de_dejetos_suinos_um_estudo_de_caso. Acesso em: 7 jul. 2022.

PEREIRA, Érika Carvalho et al. Geração de biogás a partir da biomassa do malte da fabricação de cervejas artesanais. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 10, p. 99933-99946, 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/38289>. Acesso em: 19 abr. 2022.

PINTO, L. C. et al. Determinação do valor nutritivo de derivados de levedura de cervejaria (*Saccharomyces spp.*). *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 15, n. 1, p. 7-17, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/277939630_Determinacao_do_valor_nutritivo_de_derivados_de_levedura_de_cervejaria_Saccharomyces_spp. Acesso em: 12 jun. 2022.

POMPERMAYER, Raquel de Souza; PAULA JUNIOR, Durval Rodrigues de. Estimativa do potencial brasileiro de produção de biogás através da biodigestão da vinhaça e comparação com outros energéticos. In: *Proceedings of the 3. Encontro de Energia no Meio Rural*, 2000. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/330405626_biodigestores_VIABILIDADES_TECNICAS_DE_IMPLANTACAO_UTILIZACAO_VANTAGENS_E_DESVANTAGENS. Acesso em: 28 jun. 2022.

QUEIROZ, Camila Kelly de; PAES, Juliana Lobo; FERNANDES, Pedro Luis Belfort Gomes. Caracterização da produção de biogás a partir da biodigestão de lodo de esgoto. In: *VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – CBENS 2018*, 2018. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/601>. Acesso em: 7 mai. 2024.

RABELLO, F. F. P. Produção de cerveja. *Revista Agrogeoambiental*, Inconfidentes, n. 3, p. 145-155, dez. 2009. Disponível em: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/224>. Acesso em: 8 mai. 2024.

SANTOS, M. et al. Variability of brewer's spent grain within a brewery. *Food Chemistry*, v. 80, n. 1, p. 17-21, 2003. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/ae0631eea0542c3721c1a40dde7443bbda44c550>. Acesso em: 8 mai. 2024.

PORTES, Amanda Costa. Pré-tratamento de efluente de microcervejaria por adsorção empregando adsorventes alternativos. 2016. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3034>. Acesso em: 10 mar. 2022.

WALTER, William G. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 1961. Disponível em: <https://ajph.aphapublications.org/doi/10.2105/AJPH.51.6.940-a>. Acesso em: 15 jun. 2022.

YAMADA, Eunice Akemi et al. Composição centesimal e valor protéico de levedura residual da fermentação etanólica e de seus derivados. *Revista de Nutrição*, v. 16, p. 423-432, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rn/a/3KRqWh5Fn7LpYRs8Tw5hfsD/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 18 jul. 2022.

ZHAOXIA et al. Techniques optimization of combined enzymatic hydrolysis on brewers' spent grain from Novozymes. *Journal of Life Sciences*, v. 6, n. 11, p. 1232, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/24199447_Enzymatic_Solubilization_of_Brewers'_Spent_Grain_by_Combined_Action_of_Carbohydrases_and_Peptidases. Acesso em: 20 jun. 2022.