UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Faculdade de Engenharia e Ciências
Câmpus de Rosana

ENGENHARIA
DE ENERGIA

VICTORIA MAMEDE BUENO

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE RESÍDUOS DE ABATEDOUROS DE FRANGOS

Rosana - SP

2022

VICTORIA MAMEDE BUENO

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE RESÍDUOS DE ABATEDOUROS DE FRANGOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Energia da Faculdade de Engenharia e Ciências - Câmpus de Rosana, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientadora: Profa. Dra. Andreia Fátima Zanette

Rosana

2022

B928c

Bueno, Victoria Mamede
Caracterização físico-química de resíduos de abatedouros de frangos / Victoria Mamede Bueno. -- Rosana, 2022
43 f. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Energia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana
Orientadora: Andreia Fátima Zanette

1. Poultry slaughterhouse. 2. Waste. 3. Physicochemical characterization. 4. Biodiesel. 5. Sustainable alternative. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

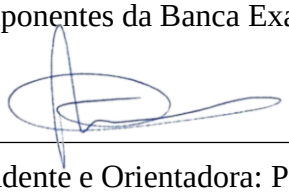
VICTORIA MAMEDE BUENO

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE RESÍDUOS DE ABATEDOUROS DE FRANGOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Energia da Faculdade de Engenharia e Ciências - Câmpus de Rosana, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Energia.

Rosana, 13 / 07 / 2022.

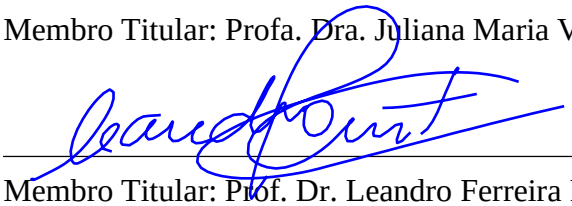
Componentes da Banca Examinadora:



Presidente e Orientadora: Profa. Dra. Andréia Fátima Zanette



Membro Titular: Profa. Dra. Juliana Maria Vaz Pimentel



Membro Titular: Prof. Dr. Leandro Ferreira Pinto

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu transtorno depressivo que sempre me colocou no limite do estresse e da loucura e acabou me ensinando, mesmo que tenha demorado, a fazer o que eu preciso fazer mesmo sem estar bem para isso.

Agradeço a minha avó Célia, avó que é mãe, é pai, é irmã, é companheira, é professora, é cozinheira, é exigente, é inteligente, é caridosa, é forte, é admirada e amada por todos que conhecem. Vó, eu te agradeço por tudo e mais um pouco, obrigada por ser tudo que eu precisei sempre que eu precisei, por me sustentar e investir em mim, eu te amo muito.

Agradeço às minhas irmãs, Jessica e Giovanna, por me darem uma razão para querer continuar viva e recomeçar sempre quando necessário.

Agradeço a minha mãe Vanessa e minha tia Letícia, que mesmo sendo muito diferentes, as duas sempre me disseram que a gente pode conseguir tudo que acreditamos e trabalhamos por isso.

Agradeço aos meus primos, Daninha (filha 1) e Diogão (filho 2), por me verem como eu gostaria de me ver todos os dias, pelos muitos momentos onde só a presença de vocês já mudou meu dia. Foi por ter que me virar nos trinta para cuidar de vocês que eu aprendi a cuidar de mim.

Agradeço também a minha prima Jujuba por ser a minha pessoa e eu ser a dela. E por ela nunca sair com dinheiro e eu precisar me formar para bancar ela. Agradeço ao Tutu e ao Pedrão, por sempre confiarem e acreditarem em mim, sinto a falta de vocês.

Agradeço a minha tia Kely e ao meu tio Vinícius que sempre tiveram o papel de cuidado na minha vida, sempre quiseram o melhor pra mim e sempre estiveram por perto quando eu precisei. Obrigada por sempre me tratarem como filha de vocês.

Agradeço ao meu tio Rui, ao meu tio Márcio, ao meu primo Alex e em especial ao meu Bisavô Zé Mamede, pessoas que deixaram essa vida durante meu processo de graduação mas que sempre vão estar em meu coração e meus pensamentos.

Agradeço também a todos os outros filhos do Zé Mamede, a Cláudia, a Eliana, o Beto e Paulinho, eu admiro demais cada um de vocês e podem ter certeza que parte de quem eu sou veio de vocês.

Agradeço a Lucinda, pessoa que faltava na minha família e a gente não sabia até aparecer. Agradeço o cuidado, a preocupação, a disposição e o carinho que tem não só por mim mas por todos da minha família. Saber que você está por perto para cuidar deles acalma o meu coração.

Agradeço as minhas melhores amigas que trouxe da ETEC, Lígia e Nara, por acreditarem mais em mim do que eu mesma.

Agradeço aos meus amigos de Mogi Guaçu que estão por mim mesmo estando distante todos esses anos, em especial, Isabella, Ana Bueno, Nathalia, Goda, Fernando, Matheus e a Flora, obrigada por ainda estarem na minha vida.

Agradeço a todos os meus professores, em especial minha orientadora Zanette, por todo o conhecimento durante esses anos e pela paciência que teve comigo durante o desenvolvimento deste trabalho. Te agradeço também pelos esforços em conseguir os resíduos, eu sei como foi complicado, você é demais!

Agradeço a todas as pessoas que passaram pela minha vida durante esses anos, vocês sabem como cada um de vocês me mudou e me fez evoluir, em especial a minha turma de 2016, que eu agradeço por me mostrarem o que é amizade, nem todas as experiências foram boas mas eu aprendi.

Em especial da minha turma, Catuaba, Portuga, Deputado, Trico, a Mari, o Kaipira e não menos importante o João Guilherme, obrigada por estarem lá quando ninguém mais esteve, vocês nunca vão se livrar de mim, é nois.

Agradeço a todos os meus amigos que sempre vão estar no meu coração, o Feijão, o Filho, o Strogo, o Tubs, a Joice, o Hantaro, o Felipão, o Guga, a Mariele, o Adnet, o Vina, a Sarinha, o Block, o Eixo, o Chris, o Grande, o Meteoro, o Jão e em especial o Marcus (Tanga), que foi a luz necessária para eu concluir este trabalho, obrigada novamente pelo apoio.

Agradeço com todo o meu coração a todos que me deram força para finalizar meu projeto, em especial obrigada Rep Zona, Laranja, Pagode, Xena e a Mocoquinha, e aos meus queridos afilhados de 2022, Arthur, o Gustavo e o Pedro, obrigada por me acolherem e me darem forças.

Agradeço a República Toca do Coyote que mesmo que eu tenha começado a pagar aluguel só esse ano, me abriga desde sempre e eu sou muito agradecida por todas as experiências e vivências compartilhadas com os integrantes da rep.

Agradeço ao Heitor, ao Matheus, ao Leonardo e a Ligia por compartilharmos a casa esse ano, por me ensinarem e me cobrarem quando necessário, pelas palavras duras e as de conforto, por todos os momentos que passamos juntos, vocês são minha família.

Agradeço aos projetos e grupos que participei durante a faculdade, em especial ao CAUR, projeto que foi responsável por mudar a minha maneira de ver o mundo.

Agradeço a mim mesma, por ter desenvolvido esse trabalho mesmo não acreditando que eu era capaz, agradeço ter aprendido que é insistindo no medo que a gente sai do lugar.

“O homem é a única criatura que consome sem produzir”.

George Orwell – Revolução dos Bichos

RESUMO

O biodiesel surgiu como uma alternativa sustentável ao diesel e tem um importante papel na mudança da matriz energética mundial. Apesar das vantagens ambientais como menor emissão de fuligem em relação ao diesel e sua síntese ser simples e barata, o biodiesel possui alto custo de produção, por isso há muito interesse em fontes que não disputam espaço com a produção de alimentos e matérias-primas que, ao utilizá-las, facilitam o gerenciamento de descartes e também economizam espaço terrestre que antes seria utilizado como aterro. A indústria de frango de corte produz toneladas de resíduos que podem vir a ser poluentes para o solo e a saúde humana. Diante disso, a destinação e o gerenciamento sustentável destes resíduos é fundamental. O presente trabalho propõe o estudo do potencial energético de três resíduos gerados em um abatedouro de aves: o óleo flotado, o óleo de vísceras e o lodo residual. Para este fim, foi realizada a determinação de importantes parâmetros físico-químicos como: análise imediata e determinação da umidade do lodo residual, índice de acidez, densidade e viscosidade dos óleos residuais. Todas as análises seguiram as especificações presentes na norma americana ASTM. Observou-se que o óleo de vísceras possui mais impurezas e maior densidade à temperatura ambiente que o óleo flotado. O óleo de flotado apresentou índice de acidez de 10,52 mgKOH/g, maior que o óleo de vísceras que foi de 4,36 mgKOH/g. A umidade encontrada foi de 0,07% e 0,08%, a densidade obtida foi de 914,59 e 921,67 kg/m^3para o óleo flotado e o óleo de vísceras, respectivamente. Obteve-se viscosidade de 6,027 $x10^{-3}m^2/s$ para o óleo flotado e e 165,7 $x10^{-3}m^2/s$ para o óleo de vísceras. O lodo residual apresentou um teor de 7% de umidade; teor de cinzas de 3%; teor de material volátil 84% e o teor de carbono 13%. Tanto os óleos quanto o lodo flotado caracterizaram resultados positivos para serem matérias-primas com potencial energético.

Palavras-chave: Abatedouro de frango. Resíduo. Caracterização físico-química. Biodiesel.

ABSTRACT

Biodiesel emerged as a more sustainable alternative to diesel and has an important role in changing the global energy matrix. Although the environmental advantages as a less soot emitter in relation to the diesel and its simple and cheap syntheses, the biodiesel has a high production cost, with a lot of interests has been attracted for sources that do not dispute place with the food production, raw materials that by using it, facilitate the disposal management and also saves the terrestrial space that would before be used as a landfill. The broiler chicken industry produces tons of waste that tends to be pollutants for the soil and human health. Given this fact, the destination and sustainable management of these waste is fundamental. The present work proposes a potential energetic study of three waste generated in a poultry slaughterhouse: the floated oil, the viscera oil and the residual sludge. Therefore, a determination of important parameters physicochemical was released like: an immediate analysis of the wasted sludge and moisture determination, acidity level, density and the wasted oil viscosity. All the analysis followed the present specification in the american standard ASTM. It was observed that the viscera oil has more impurities and more density, the room temperature, than the floated oil. The floated oil presented 10,52 mgKOH/g of acidity, bigger than the viscera oil, which was 4,36 mgKOH/g, The moisture hasn't had much disparity, it was obtained 0,07% and 0,08%, the density 914,59 and 921,67 for the floated oil and the viscera respectively. It was obtained, for the viscosity, 6,027 $x10^{-3}m^2/s$ for the floated oil and 165,7 $x10^{-3}m^2/s$ for the viscera one. The waste sludge presented around 7% of moisture; 3% of ashes; 84% of volatile material and 13% content of carbon. Both oils and floated sludge characterized positive results to be raw material with energetic potential.

Keywords: Poultry slaughterhouse, Waste, Physicochemical characterization, Biodiesel.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Reação de Transesterificação.....18
Figura 2- Produção de biodiesel por matéria-prima no Brasil.....19
Figura 3- Exportação Mundial de frango de corte.....21
Figura 4- Metodologia do estudo.....25
Figura 5- Tanque de Equalização.....26
Figura 6- Flotador (A) e o tanque de equalização (B).....26
Figura 7- Tanque de aquecimento e secagem do lodo (B).....27
Figura 8- Biodigestor.....27
Figura 9- Prensa (A) e centrífuga (B).....28
Figura 10-Picnômetro.....32
Figura 11- Viscosímetro.....33
Figura 12- Amostra do lodo residual seco.....34
Figura 13- Equipamento de Filtragem.....34
Figura 14- Amostra do óleo flotado (esquerda) e do óleo de vísceras (direita).....35
Figura 15- Lodo após 6 minutos na mufla a 850 ºC (A) e após 4 horas na mufla a 750 ºC (B).
.....37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Valores experimentais para a umidade do lodo.....36
Tabela 2- Dados obtidos para determinação do material volátil e das cinzas do lodo.....36
Tabela 3- Valores obtidos na análise imediata.....37
Tabela 4- Propriedades físico-químicas do óleo.....38

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FFA	Ácido Graxo Livre
PIB	Produto Interno Bruto
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
ESALQ/USP	Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
FAESP	Federação de Agricultura do Estado de São Paulo
ABRA	Associação Brasileira de Reciclagem Animal
FFO	Fábrica de Farinha e Óleo
ASTM	American Society for Testing and Materials
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 17
2.1 BIODIESEL 17
2.1.1 Matérias-primas não convencionais para produção de biodiesel 19
2.2 AVICULTURA NO BRASIL 20
2.2.1 Resíduos provenientes de abatedouros de aves 21
2.2.2 Óleo e gordura residual de frango 22
2.2.3 Lodo 23
3 METODOLOGIA 25
3.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA 25
3.2 ANÁLISE IMEDIATA DO LODO 28
3.2.1 Umidade 28
3.2.2 Material volátil 29
3.2.3 Cinzas 29
3.2.4 Carbono fixo 30
3.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO ÓLEO RESIDUAL 30
3.3.1 Índice de acidez 30
3.3.2 Umidade 31
3.3.3 Densidade 31
3.3.4 Índice de viscosidade 32
4 RESULTADOS 33
4.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS 33
4.1.1 Amostra sólida (lodo) 33
4.2 ANÁLISE IMEDIATA 35
4.2.1 Umidade 35
4.2.2 Teor de voláteis e teor de cinzas 36
4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO ÓLEO RESIDUAL 37
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 39
REFERÊNCIAS 40

1 INTRODUÇÃO

A atual necessidade em reduzir o uso de combustíveis fósseis promove o grande interesse na produção de biocombustíveis. O biodiesel é um combustível renovável com capacidade de substituir o uso do diesel, que é o causador de inúmeros danos ambientais pela liberação de gases poluentes à saúde humana e ao meio ambiente, como: monóxido de carbono, enxofre, óxido de nitrogênio, entre outros. Para produzir o biodiesel de forma sustentável há a necessidade de utilizar uma matéria-prima que não afete a segurança alimentar e econômica da população (LIMA 2020).

A matéria-prima de um biodiesel é o que encarece o combustível, sendo assim, o estudo por novas matérias-primas eficientes para sua produção é de grande interesse para produtores e compradores. Uma prática amplamente estudada atualmente é a utilização de resíduos provenientes de processos industriais do setor de frango de corte, como: ossos, dentes, sebo, lodo, óleos, vísceras e gorduras para produção de combustíveis (KIRUBAKARAN; SELVAN, 2018).

Em um contexto ambiental, a alta demanda populacional resulta no crescimento da quantidade de resíduos, evidenciando a necessidade de otimização industrial, a fim de minimizar danos ambientais. Além de ser vantajoso economicamente, o aproveitamento de resíduos que antes seriam descartados, os processos das quais esses resíduos foram obtidos tendem a melhorar, tornando-os mais sustentáveis (WANG et al., 2022),

No ano de 2021, o mercado brasileiro, segundo a EMBRAPA (2021), exportou cerca de 4300 milhões de toneladas de frango de corte, deixando os resíduos para gerenciamento e tratamento em solo nacional. A geração excessiva de resíduos nos obriga a encontrar alternativas de reutilização para eles e, ao aproveitar o resíduo de abatedouro na produção energética, gera a oportunidade de associar economia e sustentabilidade (MACIEL; DUARTE; REZENDE, 2021). Um estudo realizado por FEISTEL (2011) diz que há geração de resíduo em todas as etapas do abate de frango. Essas matérias-primas provenientes do aviário, segundo Rabelo, Silva e Peres (2014), contém um alto teor de matéria orgânica.

Para o desenvolvimento deste trabalho utilizou-se resíduos proveniente de diferentes etapas do processamento do frango de corte como a centrifugação, que origina o óleo flotado, o óleo das vísceras que é retirado da prensagem e o lodo, originado na etapa final do tratamento dos efluentes. A fim de estudar o potencial de viabilização destes resíduos para fins energéticos, determinou-se as características físico-químicas dos óleos, entre elas: a umidade, o índice de acidez, densidade e viscosidade. Com o lodo foi determinada a análise imediata.

1.1 Objetivo

Este trabalho tem como principal objetivo a análise do potencial energético de resíduos de abatedouros de frangos oriundos das etapas de processamento do frango de corte: óleo de vísceras, óleo flotado e o lodo. A análise será realizada a partir dos objetivos específicos abaixo:

i. Levantamento bibliográfico do potencial de resíduos de abatedouros.
ii. Coleta e preparo das amostras de resíduos.
iii. Caracterização físico-química do óleo de vísceras.
iv. Caracterização físico-química do óleo flotado.
v. Caracterização físico-química do lodo.
vi. Diagnóstico dos resultados obtidos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BIODIESEL

A intensidade com que consumimos combustível diesel aumentou de maneira proporcional ao crescimento da sociedade, sendo crucial no desenvolvimento industrial em geral. Os combustíveis, como o diesel, tiveram o papel de impulsionar o desenvolvimento socioeconômico mundial, mas a sua alta demanda criou problemas de poluição e simultaneamente, preocupações sobre o seu uso generalizado (SARIN, 2012).

Devido aos danos ambientais e para reduzir a dependência do petróleo, muitos países começaram a reduzir significativamente a quantidade de combustíveis fósseis que utilizam. Como um combustível não renovável, o diesel é extremamente tóxico e poluente para o meio ambiente. Ele está associado a altos níveis de gases de efeito estufa, de dióxido de carbono (CO_2), e a queima do diesel também ocasiona altas emissões de dióxido de enxofre (SO_2), monóxido de carbono (CO) e material particulado (WAHYONO *et al.*, 2022).

Atualmente têm-se levantado questões sobre o esgotamento da reserva de petróleo e as consequências que os combustíveis fósseis trazem para a natureza e o equilíbrio com a comunidade. Por isto o investimento em pesquisas sobre métodos alternativos de energia, como os biocombustíveis, tem ganhado valor e espaço na sociedade, pois geram menor poluição e danos ecológicos e são uma alternativa ao uso do petróleo (BONOMETO, 2009).

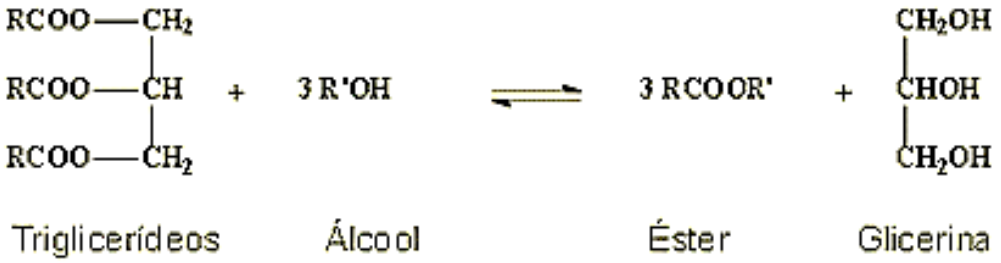
Os biocombustíveis têm um papel importante na mudança da matriz energética mundial. Segundo Shafiq et al. (2020), eles emergiram como um combustível alternativo promissor nos últimos anos devido à sua natureza renovável e atributos ecológicos. Com a variabilidade de plantas, resíduos e do bioma brasileiro, o Brasil torna-se um grande pesquisador de tipos de biocombustíveis e seus usos, incluindo estudos de sua rentabilidade e sustentabilidade (CICONELLO, 2018).

O biodiesel é um combustível renovável biodegradável e não tóxico, livre de enxofre, e em comparação com o diesel tem uma menor emissão de fuligem, o que reduz doenças respiratórias. Ele é descrito como uma mistura de ésteres monoalquil, produzido pela reação de uma gordura animal (ou óleo vegetal) com um álcool (metanol ou etanol) que na presença de um catalisador produz biodiesel e glicerol (RODRIGUES, 2021).

O processo para a obtenção do biodiesel é denominado de transesterificação, uma reação entre um triglicerídeo e um álcool de cadeia curta. É uma reação de equilíbrio e da mistura de

produtos químicos que sofrem uma reação com uso de catalisadores, como ácido ou base forte, gerando como produto o biodiesel (Gomes et. al., 2008), conforme a Figura 1.

Figura 1- Reação de Transesterificação



Fonte: LIMA (2020)

Neste processo, ocorre uma sequência de reações reversíveis, iniciando com a conversão dos triglicerídeos em diglicerídeos, então quebrados em monoglicerídeos, que através de uma reação química se transformam em glicerina. Em cada processo há a formação de um éster e para cada triglicerídeo são gerados três ésteres. Desta forma, quanto maior o grau de insaturação, menor o ponto de fusão do éster metílico, sendo importante para que, em baixas temperaturas, não haja solidificação e prejuízo no uso do combustível (MOREIRA, 2009).

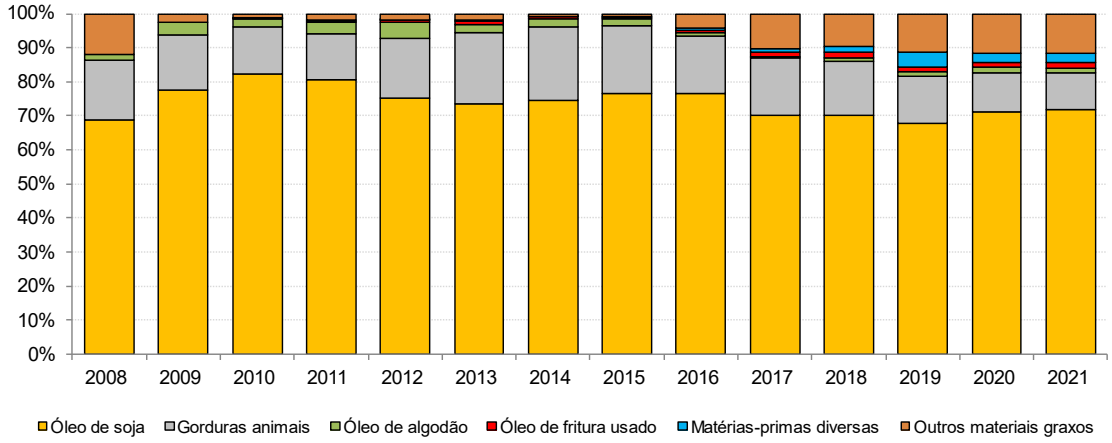
Existem diversos fatores que influenciam de forma direta as reações químicas e os produtos gerados, sendo necessário verificar a natureza e procedência do material a ser utilizado. Para que a qualidade não seja afetada, deve-se analisar os índices de acidez, umidade e o catalisador a ser usado (GOMES, 2005).

Segundo Bonometo (2009), para se analisar o biodiesel obtido, verifica-se o seu balanço energético, que é um parâmetro de viabilidade na produção do biodiesel. O processo de transesterificação é amplamente utilizado no Brasil, por possuir baixo custo e sua obtenção não ser muito complexa. Contudo existe uma rota alternativa na obtenção do biodiesel, denominada de técnica do craqueamento, em que há a quebra de moléculas pelo emprego do calor, com o emprego de catalisadores ou não, sendo o processo de transesterificação predominante em todo território nacional (BONOMETO, 2009).

Mesmo o biodiesel sendo uma alternativa renovável com uma vasta gama de opções em relação a sua matéria-prima, a sustentabilidade do mesmo ainda não foi definida. Água e alimentos-cultura são os principais consumos durante a produção de biodiesel. Como água e alimento constituem as necessidades básicas humanas, o impacto sobre esses setores influencia diretamente na sustentabilidade do combustível (CHONG *et al.*, 2021).

Segundo a EMBRAPA (2021), o preço da matéria-prima constitui o maior custo para produção de biodiesel, cerca de 70% do valor final do combustível. Na Figura 2 é possível analisar as principais matérias-primas mais utilizadas no Brasil, nota-se que a soja é lider em produção e é a mais utilizada para produção de biodiesel no Brasil. Resíduos alternativos e de excelentes propriedades combustíveis, como, lixo urbano, gorduras animais e até águas resíduais já são amplamente utilizados com o intuito de baratear o combustível, e também deixar mais eficiente e sustentável os processos de descartes dos resíduos (KIRUBAKARAN; SELVAN, 2018).

Figura 2 - Produção de biodiesel por matéria-prima no Brasil



(Fonte: ANP/ABIOVE - Coordenadoria de Economia e Estatística, 2022)

Na Figura 2 é possivel identificar que apenas no ano de 2017 o uso de matérias-primas diversas, como os resíduos começaram a ter uma participação relevante, e o óleo de soja mesmo com variações na quantidade de seu uso para produção entre 2008 e 2021, sempre se manteve como principal matéria-prima para produção.

2.1.1 Matérias-primas não convencionais para produção de biodiesel

Segundo Kirubakaran e Selvan (2018) a escolha da matéria-prima está diretamente ligada à região de produção do biodiesel, ressaltando que a escolha certa da mesma diminui os custos de produção. A qualidade da matéria-prima também é importante e deve ser analisada antes de ser utilizada na reação de transesterificação. Uma matéria-prima com FFA (ácido graxo livre) abaixo de 2,5% é uma fonte de biodiesel mais favorável, e maiores valores apontam que é necessário um pré tratamento, o que aumenta os custos (BABADI et al., 2022).

Algumas indústrias que produzem biodiesel utilizam como fonte de matéria-prima óleos e gorduras vegetais, como babaçu, girassol, colza, mamona, soja, aves, sebo de bovinos, dentre outros, bem como óleos e resíduos provenientes de indústria, comércios de frango de corte, bovinos e suínos (BONOMETO, 2009).

Mesmo tendo uma diversa variedade de fontes naturais que possam ser utilizadas para fazer um biodiesel sustentável e eficiente, uma problemática da utilização de alimentos para a produção é o custo da matéria-prima, que é um quarto do custo de produção, o que torna a procura por matéria-prima mais rentáveis uma necessidade econômica (ODETOYE et al., 2021).

Com a necessidade de se obter fontes energéticas renováveis e não poluentes, de forma eficiente e sem agredir ao planeta, os resíduos vem sendo objeto de estudo para produção de energia. O que antes seria descartado, se torna matéria-prima para biodiesel, gerando fonte de energia às indústrias pelo reaproveitamento de resíduos (Guedes et. al., 2019).

A fim de superar os desafios da produção de biocombustíveis com óleos comestíveis, o investimento em pesquisas para fontes não comestíveis tem aumentado, fontes que vão facilitar o gerenciamento de resíduos no final de processos e economizar espaço terrestre que antes seria decartados em aterros. Segundo Wang et al. (2022), ao reutilizar-se um resíduo como matéria-prima tem-se diversas vantagens econômicas e ambientais, como: o resíduo está vastamente disponível; reduz a dependência excessiva de combustíveis fósseis; mais barato; menos lixo; entre outras vantagens. Pode se utilizar resíduos de sangue, vísceras, osso e da água de higienização das indústrias de carne, demonstrando um alto potencial de reaproveitamento e ampla utilização de diversas matérias-primas para a produção de biodiesel, fazendo com que a natureza seja preservada, haja geração de empregos e sustentabilidade (RODRIGUES et. al., 2016).

2.2 AVICULTURA NO BRASIL

No Brasil no ano de 2020, o Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio, calculado pelo Cepea (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada), da Esalq/USP, em parceria com a CNA (Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil), cresceu 8,36% em relação 2021, devido ao reflexo do avanço dos preços em geral no Brasil e no mundo (CEPEA, 2022).

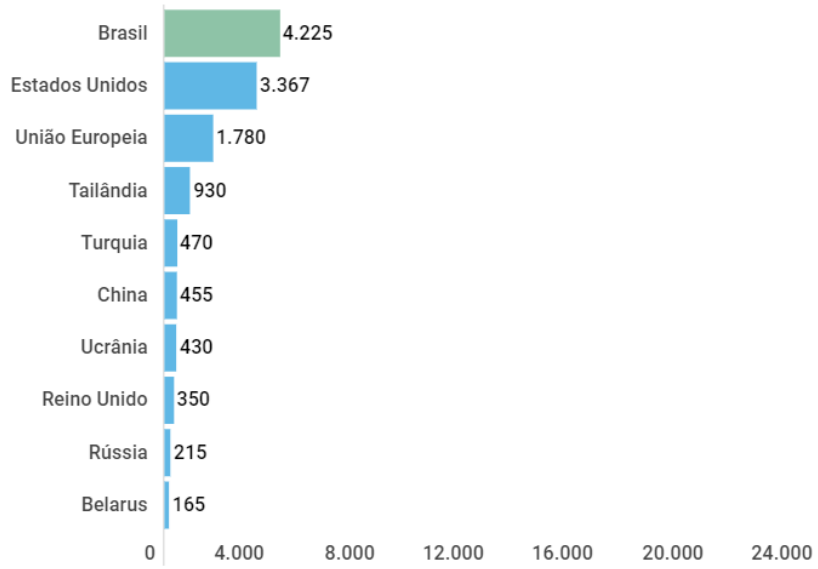
O desenvolvimento do PIB brasileiro está diretamente ligado ao crescimento do setor agropecuário. O setor, em 2021 teve uma participação de 27,4%, podendo crescer 12% no ano de 2022 segundo um estudo elaborado pelo Centro de Estudos Avançados em Economia

Aplicada, da Esalq/Usp. O presidente da Federação de Agricultura do Estado de São Paulo (FAESP), Fábio de Salles Meirelles, disse que mesmo que o setor agrícola tenha enfrentado problemas climáticos e os efeitos pandêmicos, continua a crescer e gerar empregos por todo o Brasil (PAULO, 2022).

O mercado brasileiro de frango de corte é um dos mais cobiçados mundialmente, aproveitando-se da sua alta competitividade e do seu status sanitário. No ano de 2021, o Brasil ficou em terceiro lugar mundial em toneladas produzidas, com um aumento de 3,50% em relação a 2020. Com um consumo de 45,56 kg de carne de frango per capita no Brasil, sendo 68% da produção destinada ao mercado interno e 32% para exportação (EMBRAPA, 2021).

Mesmo com a crise econômica impulsionada pela pandemia do coronavírus, diante da forte demanda externa, o Brasil é o segundo maior produtor mundial e se mantém como maior exportador de carne de frango, exportando cerca de 4,610 milhões de toneladas no ano de 2021, seguido pelos Estados Unidos. Juntos, os dois países representam 60% do comércio global (DIRCEU TALAMINI, 2021).

Figura 3- Exportação Mundial de frango de corte.



Fonte: USDA | Foreign Agricultural Service, 2021

2.2.1 Resíduos provenientes de abatedouros de aves

Segundo a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), existe grande perspectiva de crescimento da indústria do frango de corte e a projeção é que ela cresça tanto em produção quanto em exportação para os próximos anos. Em comparação com outras

proteínas, o processamento da carne de frango é mais simples e barata, o que consequentemente faz o produto final ser mais acessível para a população (CHIARELOTTO, 2021).

O Brasil conta com aproximadamente 55,6 milhões de matrizes de corte e processamento segundo a EMBRAPA (2022), e como todo o processo que gera resíduos, o manejo correto é necessário. No Brasil, a associação que cuida do gerenciamento de resíduos animais é a ABRA – Associação Brasileira de Reciclagem Animal, e segundo a agencia a maior problemática de não se tratar os resíduos agrícolas é a poluição terrestre e do ar. Uma carcaça animal em decomposição é responsável pela liberação de toneladas de gás carbônico, o gás causador do efeito estufa (ABRA, 2022).

Segundo Ozdemir (2022), é possível traçar uma estratégia utilizando esse fluxo de resíduos nas necessidades internas do setor de abatedouro de aves, combatendo o desperdício de recursos com potencial energético. A quantidade de resíduos sólidos gerados por abatedouros é imensa, e alguns desses resíduos por frango é de: 0,084 kg de sangue, 0,084 kg de penas, 0,28 kg de vísceras e 0,52 kg de lodo de flotação (WANG, 2022).

Os resíduos provenientes do tratamento de efluentes do processamento do frango de corte sem o manejo adequado trazem diversas consequências para o meio ambiente e para a população. Segundo Rondon (2008), podem poluir o lençol freático, águas superficiais, solos de plantio e do ar, e devido a sua rápida degradação, gera gases tóxicos como a amônia e elementos poluentes, como o fósforo. A Política Nacional de Resíduos Sólidos, define que se diminua ao máximo a geração de sobras e efluentes, sabendo que quando em níveis industriais, a geração excessiva desses resíduos podem causar impactos irreversíveis e diretos (LORENCETTI, 2018).

2.2.2 Óleo e gordura residual de frango

Os óleos e gorduras de origem animal são triglicerídeos que provém da reação do propanotriol, ou seja, um glicerol com ácidos graxos de cadeia variando entre 12 a 22 carbonos. Através de uma reação de esterificação é produzido biocombustíveis de origem animal como o de óleo e vísceras (GOMES; SOUZA; BARICCATTI, 2008). A gordura proveniente das vísceras animais são sebos que se apresentam em estado sólido em temperatura ambiente, com alto número de ácidos graxos saturados, como o esteárico em bovinos e suínos. Já em aves, a sua quantidade é pequena, estando próxima aos óleos provenientes de grãos, tornando-se um combustível fácil de ser manejado pela reação de transesterificação (GOMES; SOUZA; BARICCATTI, 2008).

Em óleos provenientes de vísceras é observado que o índice de peróxido é próximo a zero. Isso mostra que é pouco degradado e sua umidade é pouca, não sendo um problema na produção, cooperando para que a produção deste tipo de combustível possa ser investida e aumentada em larga escala. O uso destes óleos para produção de biodiesel beneficia o planeta por ser limpa e reutilizável, bem como o sistema econômico, social e político (GOMES; SOUZA; BARICCATTI, 2008).

Segundo SHAFIQ et. al. (2020) o reaproveitamento destes produtos como matéria-prima para a produção de combustível gera redução em média de 50% no preço final do combustível, isso por possuir alto teor de gordura e grande aproveitamento. Com isso denota-se que é possível se utilizar a gordura de frango, pois é uma opção que apresenta larga produção e possu baixo custo (KIRUBAKARAN; SELVAN, 2018).

Segundo Gomes, Souza e Bariccatti (2018) nestes abatedouros de aves, carcaças e sebos, podem ser descartados e terem um mau gerenciamento, por isto, sua reutilização torna-se rentável. Sabe-se que o abate das aves gera óleo residual que pode ser potencialmente poluente, estes podem vir das penas, vísceras, ossos e outros resíduos, que se utilizados de forma correta são promissores combustíveis para as indústrias energéticas (MOREIRA, 2009).

Esse óleo possui características próprias, como viscosidade, rendimento, ponto de fusão e outros. Sua modificação é um processo reversível que gera oleína, na fase líquida, e estearina, na fase sólida, precisando passar por processos de controle de qualidade em que se avalia seu pH e índice de saponificação (CICONELLO, 2018).

2.2.3 Lodo

Segundo Cuetos et. al. (2017), o lodo residual é uma matéria-prima proveniente dos processos industriais do frango de corte, rico em proteínas, lipídios e aminoácidos do sangue das aves abatidas. No Brasil, as indústrias de processamento de grande e médio porte transformam o lodo em ração animal seguindo a instrução normativa nº 65, de 21 de novembro de 2006. Essa transformação é um processo caro e que requer muita energia durante a centrifugação, cozimento e a secagem. Segundo a EMBRAPA (2021), no Brasil a prática já é consolidada e disseminada pelas indústrias do país, o que traz diversas vantagens econômicas para o processo. O processo é vantajoso também para os animais, que ao começarem a ingerir a farinha (ração) aumentaram seu ganho de peso e eficiência alimentar, trazendo ganho para os produtores (BELLAVER, 2022).

Segundo Damaceno et. al. (2019), outros destinos comuns para esses resíduos no Brasil são os aterros, usinas de compostagem, e produção de biogás por codigestão anaeróbica. Devido ao fato da temperatura durante a decomposição não ser suficiente para eliminar esporos e bactérias presentes, e mesmo que existam diversos aterros pelo Brasil, é a opção menos indicada e mais poluente para o descarte de resíduos (FEISTEL, 2011). Segundo a Politica Nacional de Resíduos Solidos todos os abatedouros devem ter tanques para manejo de efluentes. Já a técnica de compostagem gera estabilização do lodo flotado proveniente do abatedouro de frangos, abundante em nitrogênio e carbono, é ótimo para se utilizar da aplicação de cinzas para o equilíbrio do pH e após isto, adição de serragem de madeira e palha de milho, resultando em um composto orgânico que poderá ser destinado a agricultura para servir como adubo orgânico (RODRIGUES et. al., 2016).

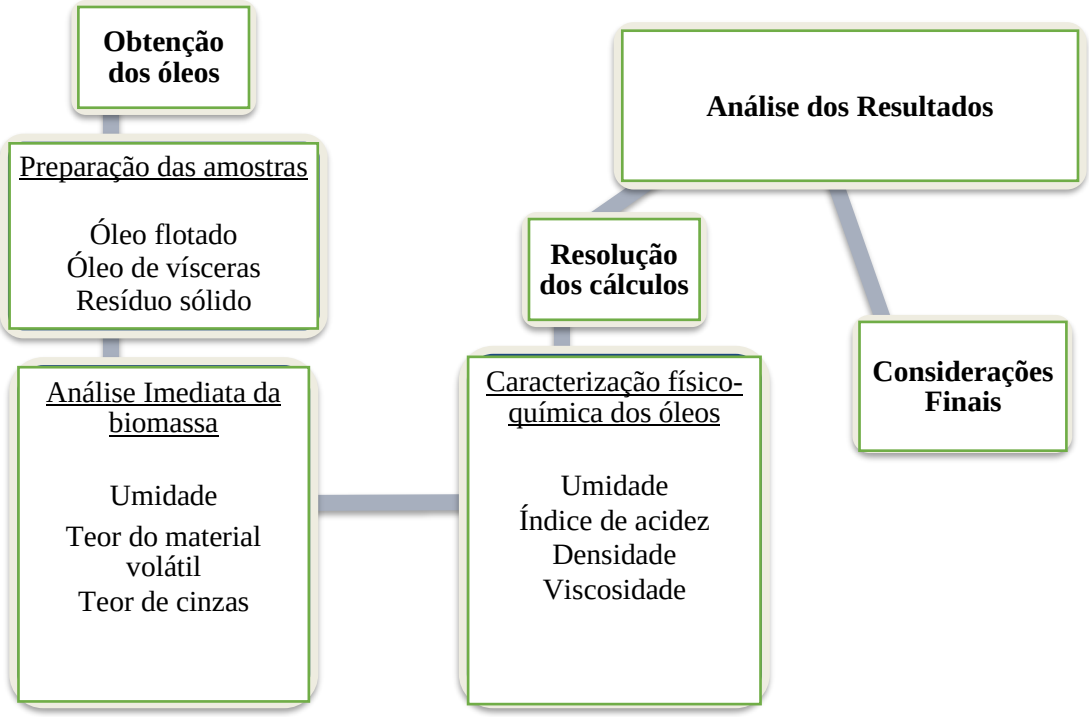
Apenas usinas de grande porte têm material suficiente para fazer seu próprio gerenciamento de resíduos, enquanto para usinas de médio e pequeno porte é mais acessível contratar o tratamento ou destinação final do resíduo (Damaceno et. al., 2019). Além da codigestão anaeróbica para produção do biogás, a queima do lodo flotado demonstra grande potencial. Segundo Ferreira (2016) o poder calorífico do lodo proveniente do tratamento de efluentes é elevado em comparação a outras biomassas.

O Brasil, de acordo com a EMBRAPA (2021), está entre os três maiores produtores de frango de corte e sendo assim também é líder em geração de resíduos. A geração do lodo por quilograma de frango abatido é aproximadamente 2,5%, ou seja, é uma vasta fonte de matéria-prima. A partir de diversos processos de tratamento (gradeamento, peneiramento e a equalização) o lodo flotado pode ser utilizado como uma eficiente fonte energética, e as análises elementares comprovam que o lodo apresenta viabilidade técnica e econômica para ser um bom combustível (FERREIRA, 2016).

3 METODOLOGIA

A partir de dados bibliográficos criou-se um fluxograma das etapas a serem desenvolvidas neste trabalho: obtenção do óleo com o abatedouro; preparação das amostras; análise imediata do lodo; caracterização físico-química dos óleos; resolução dos cálculos a partir dos dados obtidos experimentalmente; análise dos resultados e as considerações finais. Os passos tomados para a execução deste estudo são descritos no fluxograma da Figura 4.

Figura 4- Metodologia do estudo



Fonte: Próprio autor.

3.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

Os resíduos utilizados no presente trabalho foram coletados em um abatedouro de aves do estado do Paraná pelo responsável técnico do processo de tratamento de efluentes. O responsável detalhou o processo a fim de auxiliar no entendimento das etapas de separação do óleo flotado e do lodo provenientes dos descartes do aviário. A seguir é feita uma descrição de como é o processo de geração, tratamento e obtenção dos resíduos estudados.

Primeiramente, o resíduo chega no tanque de equalização, que tem a finalidade de receber e homogeneizar a água enviada pelo frigorífico, após a separação dos resíduos, como vísceras e descartes das partes das aves (Figura 5).

Figura 5- Tanque de Equalização



Fonte: Responsável Técnico

As vísceras são enviadas para o FFO (Fábrica de Farinha e Óleo), onde são utilizadas como matéria-prima para a produção de óleo e ração de vísceras, por meio de processos específicos. Em seguida, a água é enviada para o flotador, onde é adicionado o polímero e o coagulante para separação dos sólidos e da água. Após a separação, uma parte da água é retornada às lagoas de tratamento. Após a separação da água, os sólidos são enviados mais uma vez para um outro tanque de equalização para homogeneização.

Figura 6 - Flotador (A) e o tanque de equalização (B).

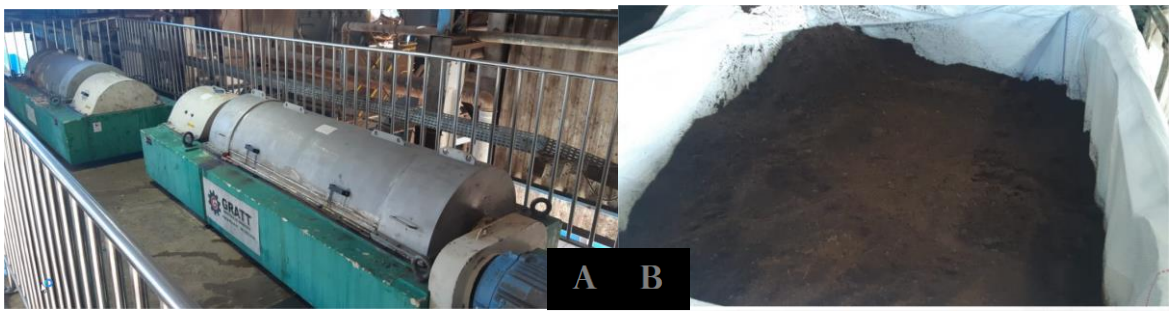


Fonte: Responsável Técnico

Depois de realizada novamente a homogeneização, o resíduo vai para o tanque de aquecimento, que aquece os sólidos a uma temperatura de 90° de graus, facilitando a separação no processo seguinte de centrifugação. Após o aquecimento, o processo de centrifugação tem a finalidade de separar a água, o óleo flotado e os resíduos que serão transformados em lodo. Nesse processo já se obtém o óleo flotado pronto para a comercialização e a água volta para as

lagoas de tratamento. Já o lodo é enviado para o secador. Depois de separado o material sólido, ele vai para secagem por um período de uma hora e meio.

Figura 7- Tanque de aquecimento e secagem do lodo (B)



Fonte: Responsável Técnico

A amostra utilizada para a análise não passou pela etapa da queima na caldeira, mas no processo industrial depois do processo de secagem o lodo é enviado para a queima na caldeira, juntamente com os cavacos de lenha. O óleo das vísceras também é destinado ao tratamento na indústria para poderem ser utilizados para fins energéticos. As vísceras descartadas pelo frigorífico são colocadas nos biodigestores e cozidas por um período de uma hora e meia a uma temperatura de 110°C.

Figura 8 - Biodigestor

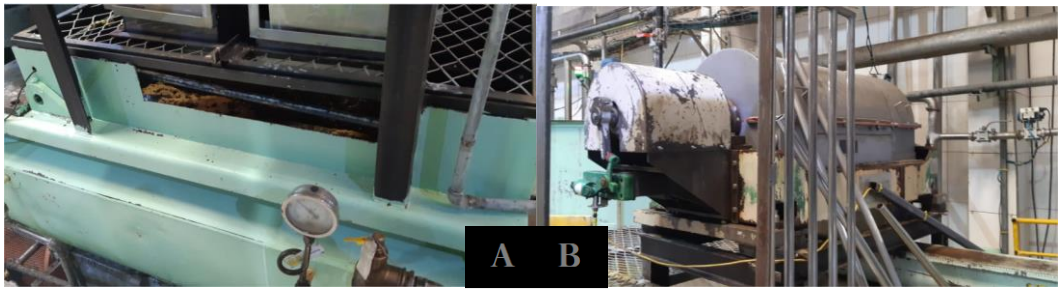


Fonte: Responsável Técnico

Após a secagem, é retirado do óleo dos biodigestores com os resíduos das vísceras, a parte mais líquida do óleo é enviada diretamente para a centrífuga, e afim de extrair o restante do óleo contido nas vísceras, o resíduo sólido é levado para a prensa. Esses resíduos posteriormente passam por um moedor e são transformados em ração de vísceras, já o óleo é enviado para a centrífuga. Por último, o processo de centrifugação é para retirar o restante das impurezas que

ficaram no óleo. Após esse processo o óleo é armazenado em tanques e está pronto para comercialização.

Figura 9 - Prensa (A) e centrífuga (B)



Fonte: Responsável Técnico

3.2 ANÁLISE IMEDIATA DO LODO

Parâmetros importantes para descobrir a qualidade da biomassa são obtidos através da análise imediata, como a umidade de uma amostra, o seu teor de voláteis, cinzas e o carbono fixo (SILVA, 2019).

3.2.1 Umidade

O nível de umidade em uma amostra é a porcentagem de água presente nela. Uma amostra com um alto nível de umidade terá seu poder de queima diretamente comprometido. A umidade foi determinada a partir do método do forno de secagem, presente na norma americana ASTM (E-870-82). As análises foram realizadas em triplicata.

Previamente os cadinhos foram secos na estufa a uma temperatura de 110ºC por aproximadamente 60 minutos, a fim eliminar qualquer umidade presente no cadinho. Depois de secos, anotado as massas dos cadinhos e das tampas, colocou-se amostra suficiente para preencher 3⁄4 do cadinho, aproximadamente, 25 gramas da matéria-prima (lodo). Após anotar as massas, colocou-se os cadinhos destampados e as tampas na estufa por duas horas a uma temperatura de 110ºC.

Retirou-se as amostras da estufa após duas horas e foram levadas para o dessecador por 30 minutos para atingir a temperatura ambiente. Elas foram novamente pesadas e devolvidas à estufa. O procedimento foi realizado repetidamente até o valor da massa da amostra estabilizar. Após, a biomassa foi armazenada no dessecador para não haver ganho de umidade.

O teor da umidade é calculado pela equação (1):

$$\%\, umidade = \frac{M_{H_2O}}{M_{amostra}} * 100 \quad (1)$$

Onde M_{H_2O} é a massa de água que evaporou e $M_{amostra}$ é a massa da biomassa após a secagem.

3.2.2 Material Volátil

Outro parâmetro importante para a caracterização de um sólido para produção de combustível é o teor de material volátil. Representado pela parte da biomassa que volatiliza a altas temperaturas (PEREIRA; SEYE, 2014).

Com a mufla previamente aquecida a uma temperatura de 850 ºC, os cadinhos guardados no dessecador (utilizados na determinação da umidade), foram dispostos um de cada vez na mufla por 6 minutos. Após as amostras foram deixadas no dessecador por 1 hora, tiradas para a pesagem e guardadas novamente. A determinação dessa propriedade segue o método ASTM (E-870-82), conforme a equação (2).

$$Material\ volátil\ (\%) = \frac{M_{bs} - M_{cc}}{M_{bs}} * 100 \quad (2)$$

Onde M_{bs} representa a massa da amostra seca e M_{cc} a massa de carbono mais as cinzas.

3.2.3 Cinzas

A determinação foi realizada seguindo a mesma norma utilizada acima para a determinação domaterial volátil, a ASTM E-870-82. Com a mufla fria colocou-se os cadinhos destampados, aquecendo lentamente até 750 ºC e mantendo por um período de 4 horas. Após, as amostras foram pesadas depois de levadas para o dessecador durante uma hora a fim de resfriarem, conforme a equação (3).

$$Teor\ de\ Cinzas\ (\%) = \frac{M_{ci}}{M_{bs}} * 100 \quad (3)$$

Onde M_{bs} representa a massa da amostra seca e M_{ci} a massa das cinzas.

3.2.4 Carbono Fixo

O cálculo do teor de carbono fixo é determinado pela diferença entre o teor de cinzas e o teor do material volátil. Dessa maneira, biomassas com maiores teores voláteis têm menores teores de carbono (CHAVES et al., 2013) sendo determinado a partir da equação (4):

$$Carbono\ fixo\ (\%) = \frac{M_{cc} - M_{ci}}{M_{bs}} * 100 \qquad (4)$$

Onde M_{cc} representa a massa de carbono mais as cinzas, M_{bs} a massa da amostra seca e M_{ci} é a massa das cinzas.

3.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO ÓLEO RESIDUAL

A análise dos parâmetros físico-químicos fornece as propriedades físicas e químicas de uma amostra, como índice de acidez, umidade e viscosidade. As práticas instrumentais para determinação das mesmas desempenham uma parte crucial na análise e determinação de um óleo para produção de biodiesel (CARVALHO, 2017).

3.3.1 Índice de acidez

A realização da determinação do IA (Índice de acidez) revela um dado importante na análise de conservação na qual os óleos se encontram. Um índice elevado de acidez indica um estado de degradação e afeta a estabilidade térmica e oxidativa de óleos e combustíveis. O IA é o número de miligramas de hidróxido de potássio (KOH) necessários para neutralizar os ácidos graxos livre em 1,0 g de amostra (LUTZ, 2008).

Utilizando a metodologia Padrão Alemã para a Análise de Gorduras e outros Lipídios pesou-se 2,5 g de óleo em um erlenmeyer de 125 ml. Adicionou-se 50 ml de uma solução neutralizada de éter-álcool (1:1 v/v) a fim de dissolver a amostra e adicionou-se 3 gotas do indicador fenolftaleína. A titulação foi realizada usando uma solução de hidróxido de sódio (KOH) 0,1 M até o surgimento da coloração rosa, que deve se manter por 30 segundos. O cálculo do valor de acidez (VA) é expresso pela equação (5):

$$VA = \frac{56,1*N*G}{m}\ mgKOH/g \quad (5)$$

Onde o “m” é a massa do óleo investigado em gramas, o “N” é o valor da normalidade do KOH e o G é o volume gasto de KOH para aparecer a coloração rosa.

3.3.2 Umidade

O índice de umidade é calculado utilizando a diferença de massas. Com o auxílio de uma pipeta de Pasteur e um béquer, pesou-se na balança analítica aproximadamente 150 g de óleo em um béquer. As amostras foram preparadas em triplicata e levadas à estufa a uma temperatura de 105°C e pesadas a cada 24h, até estabilizar o nível de umidade. A umidade é definida conforme a equação (6).

$$\%\ \mathbf{umidade} = \frac{(\mathbf{PC++PA})-\mathbf{PF}}{\mathbf{PA}} * \mathbf{100} \quad (6)$$

Onde PC é a massa do cadinho vazia; PF é a massa do cadinho com a amostra e PA é a massa após a secagem.

3.3.3 Densidade

A densidade é uma importante propriedade lubrificante. Utilizando o método da picnometria, aferiu-se a massa do picnômetro vazio, com água destilada e por fim a mostra de óleo. O picnômetro usado foi do tipo Gay-Lussac de 50mL em temperatura ambiente de 20°C. O cálculo de densidade é realizado por meio da equação (7), que relaciona a massa do picnômetro vazio, com água destilada e com o óleo a ser analisado.

$$\rho_{óleo} = \frac{(m_2-m_1)}{(m_3-m_1)}\ \rho_{água} \quad (7)$$

Onde a m_1 representa a massa do picnômetro vazia, a m_2 o massa do óleo (flotado ou vísceras), a m_3 a massa referente a água destilada e o rho (ρ) a densidade.

Figura 10 - Picnômetro



Fonte: Autor.

3.3.4 Índice de viscosidade

A viscosidade é a propriedade dos fluidos correspondente à medida da resistência de um fluido, e depende diretamente da temperatura do fluido (ATKINS,2014). Para a determinação da propriedade utilizou-se um viscosímetro de alumínio do tipo Cup Ford com orifícios intercambiáveis com diferentes tamanhos, conforme fabricante. Deve-se preencher o viscosímetro nivelado, tampando o orifício inferior com o dedo e após, inserir a amostra de óleo até transbordar. Os orifícios utilizados para o óleo flotado e o óleo de vísceras foram o de número dois e número cinco, respectivamente.

O viscosímetro utilizado baseia-se na observação do tempo gasto para a amostra fluir apenas pela força da gravidade, e está relacionado com o tempo de esvaziamento de um copo de volume conhecido (ATKINS,2014). Aguardou-se o líquido escoar totalmente e registrou-se o tempo, em segundos, que o fluido leva para escorrer à temperatura do ambiente. A viscosidade cinemática (v) é determinada pelas equações (8) e (9):

$$v_{orifício2} = 0{,}49(t - 35) \quad (8)$$

$$v_{orifício5} = 12{,}1(t - 2{,}0) \quad (9)$$

Figura 11 - Viscosímetro



Fonte: Autor.

4 RESULTADOS

4.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

4.1.1 Amostra sólida (Lodo)

O primeiro passo para preparo da amostra de lodo foi a secagem, pois o material foi recebido com uma alta carga de umidade. Após, as amostras foram trituradas em graal e pistilo para adequação a realização dos ensaios de caracterização físico-química.

Durante a coleta e preparo, o lodo residual foi manuseado cuidadosamente a fim de não haver contaminações diretas. A pré-secagem consistiu em deixar a amostra na estufa por um período de 12 a 24 horas na temperatura de 60 ºC para possibilitar seu armazenamento, visto que a carga orgânica alta e o alto teor de umidade poderiam deteriorar o material.

Para a secagem completa, colocou-se o lodo em uma estufa a 105 ºC até atingir a massa constante por um período de 12 a 24 horas, a fim de eliminar qualquer umidade reincorporada no período de armazenamento. Depois foram deixadas no dessecador até atingirem a temperatura ambiente, cerca de 30 minutos, e armazenadas para realização das análises.

Figura 12 - Amostra do lodo residual seco

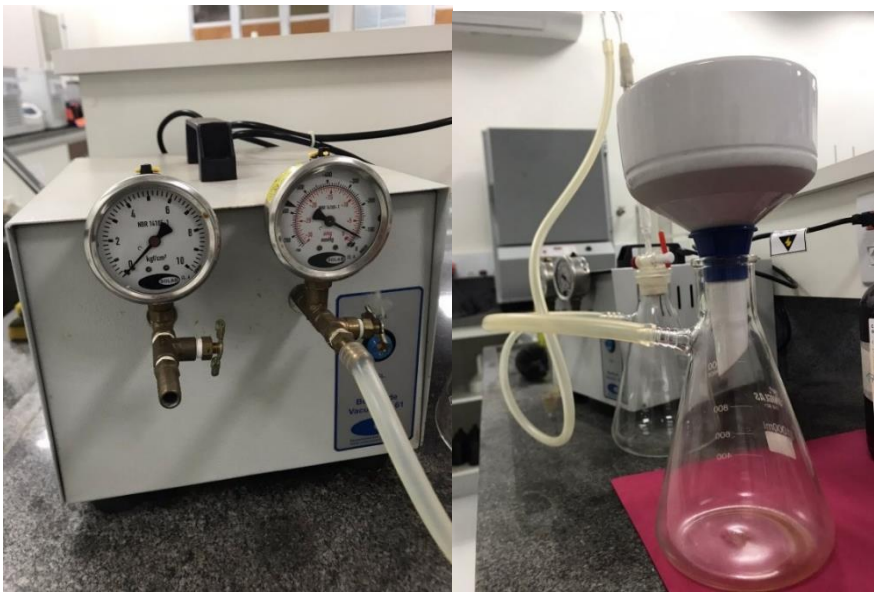


Fonte: Autor.

4.1.2. Amostra líquida (óleos)

Ao ser recebido, as amostras de óleos foram filtradas para remoção de impurezas. Realizou-se uma filtragem para o processo de preparo das amostras líquidas, tanto do óleo flotado quanto do óleo de vísceras. Utilizou-se a filtração a vácuo visto que a viscosidade era elevada, conforme observado na Figura 13.

Figura 13 - Equipamento de filtragem a vácuo



Fonte: Autor.

Utilizando um funil de Buchner, um kitassato, uma mangueira e uma bomba a vácuo, os óleos foram filtrados e armazenados para estudo. O óleo de vísceras se apresentou com mais impurezas e mais denso que o óleo flotado.

Figura 14 - Amostra do óleo flotado (esquerda) e do óleo de vísceras (direita).



Fonte: Autor.

4.2 ANÁLISE IMEDIATA

As propriedades mais importantes e que mais influenciam na capacidade de combustão do material são: o nível de carbono fixo; o teor de cinzas e o de umidade. Segundo Silva (2019), uma amostra com alto teor de cinzas e umidade, e um baixo nível de carbono fixo, caracteriza um combustível de baixa qualidade quando induzido ao processo de combustão.

4.2.1 Umidade

Com os dados obtidos, foi possível montar a Tabela 1, em que a partir dela calculou-se a porcentagem de umidade presente nas amostras.

Por meio da equação (1) obteve-se o valor de 0,06754 de umidade relativa, aproximadamente 6,75% evidenciando que o resíduo estudado possui umidade aceitável para ser utilizada como matéria-prima para queima. De acordo com Resolução ANP Nº 45 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) referente a biomassas tradicionais de queima, o nível de umidade de uma amostra deve ser de até 0,5 para que não interfira na eficiência da combustão.

Tabela 1 - Valores experimentais para a umidade do lodo

Amostra	Massa do cadinho (g)	Massa do cadinho e do lodo (g)	Dias de secagem				
			1	2	3	4	5
1	105,38	128,53	119,79	119,72	119,67	119,61	119,58
2	104,31	126,22	118,16	118,08	118,03	117,99	117,96

Fonte: autor

4.2.2 Teor de Voláteis e Teor de Cinzas

A fim de facilitar a análise dos dados obtidos experimentalmente montou-se a Tabela 2, e a partir dela calculou-se o teor do material volátil e o teor das cinzas da amostra de lodo. O resultado da análise pode ser observada na Figura 15.

Tabela 2 - Dados obtidos para determinação do material volátil e das cinzas do lodo

Amostras	Massa do cadinho (g)	Massa do cadinho e do lodo (g)	Após 6 minutos na mufla (g)	Após 4 horas na mufla (g)
1	61,81	73,54	63,72	62,23
2	56,86	70,67	59,16	57,34
3	62,04	76,82	64,55	62,57
4	65,04	78,25	67,22	65,51

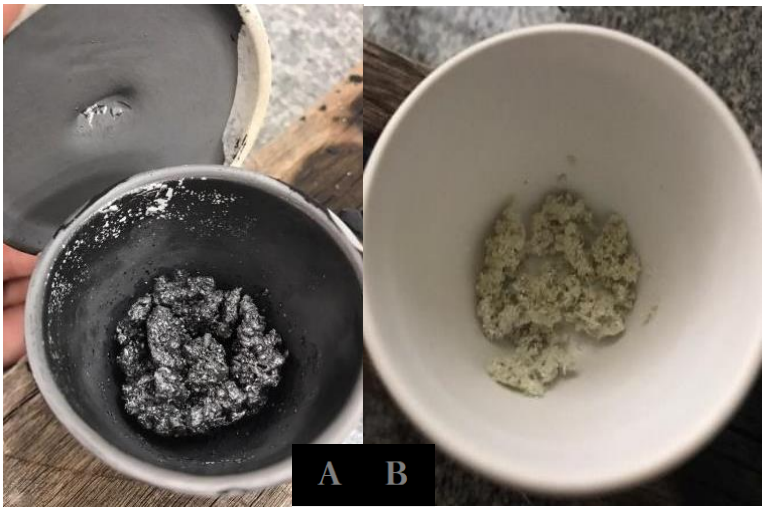
Fonte: autor.

Por meio equação (2) obteve-se o valor de 84% de voláteis, demonstrando um alto nível o que pode interferir na facilidade de queima de uma biomassa. Segundo Klautau (2008), quanto maior o teor de voláteis maior será ignição.

Enquanto o teor de material volátil representa a parte da biomassa que evapora, o teor de cinzas consiste na porcentagem da massa que não sofre combustão (PEREIRA; SEYE, 2014). Com a Equação 3 obteve-se um baixo teor de cinzas, 2,8%, que de acordo com Vale et al (2011) deve estar abaixo de 7%. Valores acima dos aceitáveis podem gerar problemas na hora do processo de combustão e trazer problemas quanto a manutenção (PEREIRA; SEYE, 2014) da caldeira.

Para melhor análise dos dados obtidos a partir da análise imediata do lodo residual montou-se uma tabela comparativa com a biomassa mais utilizada no Brasil, o bagaço de cana. Constatando que o lodo residual após processos de preparo pode ser levado a combustão e ter ótimos resultados de queima, em comparação com uma matéria-prima já dominada.

Figura 15- Lodo após 6 minutos na mufla a 850 ºC (A) e após 4 horas na mufla a 750 ºC (B).



Fonte: Autor.

Tabela 3 - Valores obtidos na análise imediata

Análise Imediata	Lodo Residual	Bagaço de cana (PEREIRA; SEYE, 2014)
Umidade (%)	6,75	10,08
Carbono (%)	13,21	13,87
Cinzas (%)	2,86	5,71
Voláteis (%)	83,94	80,42

Fonte: Próprio autor.

4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO ÓLEO RESIDUAL

Definir os parâmetros de um óleo ou gordura que pode ser utilizado para a síntese de um biodiesel, segundo Canesin, Lima e Canesin (2020), é útil para qualificar as propriedades específicas para a avaliação da degradação, pois pode influenciar em um decréscimo no rendimento na obtenção dos ésteres. Tanto as amostras do óleo flotado quanto do óleo de víscera foram submetidas a uma caracterização físico-química de umidade; índice de acidez; densidade e de viscosidade.

O teor de umidade da amostra foi analisado conforme as especificações estabelecidas pela resolução da ANP Nº 50, DE 23.12.2023, que especificam os valores para propriedades do óleo diesel presente nas Normas Brasileiras (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT ou/e Normas da *American Society for Testing and Materials* – ASTM. Tanto o valor da umidade do óleo flotado quanto o de vísceras mostraram valores dentro dos estabelecidos na norma (até 0,5%), ou seja, 0,069% e 0,081%, respectivamente.

Os dados experimentais apontam um nível de acidez de 10,52 mgKOH/g para o óleo flotado e 4,36 mgKOH/g para o óleo de vísceras. De acordo com a ANP, o parâmetro referente ao índice de acidez presente em uma amostra de óleo deve ser de no máximo 0,5 mgKOH/g óleo, mas dados na literatura nos mostram que o teor de acidez é aproximadamente 0,59 mgKOH/g óleo para a gordura residual proveniente de granjas, segundo Ciconello (2018). Altos teores de acidez indicam o grau de processamento da gordura, da decomposição dos glicerídeos ao longo do tempo e o grau de decomposição, segundo o Instituto Adolfo Lutz (1985).

Importante propriedade lubrificante necessária para a caracterização, a densidade do óleo flotado e do óleo de foi de 914,59 kg/m^3 e 921,67 kg/m^3, respectivamente.

De acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o grau da viscosidade fornece informações sobre o funcionamento do motor e também da economia de combustível. Obteve-se o valor do índice de viscosidade de 6,03 $x10^{-3}m^2/s$ para o óleo flotado e 165,70 $x10^{-3}m^2/s$ para o óleo de vísceras. De acordo com o estudo realizado por Odetoye, Agu e Ajala (2021), a viscosidade de um óleo de frango utilizado para síntese de combustível é de 54,8 $x10^{-3}m^2/s$. Os resultados experimentais obtidos estão resumidamente apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Propriedades físico-químicas do óleo

Parâmetro	Óleo flotado	Óleo de vísceras
Umidade (%)	0,07	0,08
Índice de acidez (mgKOH/g)	10,52	4,36
Densidade (kg/m^3)	914,59	921,67
Viscosidade (m^2/s)	6,03 $x10^{-3}$	165,70 $x10^{-3}$

Fonte: Próprio autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta inicial do presente trabalho de conclusão do curso foi analisar o potencial energético de resíduos provenientes do tratamento de efluentes da indústria de frango de corte: o óleo flotado, o óleo de vísceras e o lodo residual flotado. Utilizando a análise imediata e a caracterização físico-química, comprovou-se o potencial energético dos resíduos estudados.

O óleo de vísceras e o flotado apresentaram um nível de umidade dentro dos padrões normativos para produção de combustíveis. Já o lodo flotado precisa passar por um pré-tratamento para que a água não interfira na combustão, porém a análise imediata mostrou que o lodo flotado tem potencial energético para queima. Outros processos de preparação da matéria-prima podem vir a ser necessários dependendo da finalidade do resíduo, como o equilíbrio da acidez e maiores processos para remoção de impurezas.

A matéria-prima do biodiesel é quase 70% do seu valor de produto final e do ponto de vista econômico a utilização de resíduos como matéria-prima para produção energética é repleta de vantagens para os produtores e consumidores. Os dados obtidos no trabalho comprovam que é possível utilizar um resíduo que antes seria descartado, para produção de algo novo, transformando o que antes era uma problemática (manejo dos efluentes) em uma oportunidade.

O Brasil está entre os líderes de produção de frango do mundo e, consequentemente, é pioneiro também na quantidade de resíduo produzidos, o que economicamente falando faz com que o resíduo se caracterize como uma matéria-prima que está em abundância em solo nacional, e sendo assim é economicamente viável. O uso de matérias-primas variadas na produção energética auxilia também na diversificação da matriz energética o que ajuda na dependência social dos combustíveis fósseis, mitigando problemas de escassez no futuro.

Como todo o processo gera resíduos, maiores processos geram impactos maiores, os grandes setores brasileiros da agropecuária movimentam a economia nacional, e tendem a crescer exponencialmente independente dos danos ambientais que causam. Em busca da sustentabilidade, deve-se criar processos cada vez mais limpos e maiores, a fim de suprir as necessidades populacionais. A reutilização de resíduos manejados internamente nos próprios processos de onde são gerados tem diversas vantagens, como: barateiam o preço final do processo, o gerenciamento interno desses resíduos mitiga danos ambientais e à saúde humana, diversifica a matriz energética, tornando os processos mais eficientes e mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ABIOVE. **Associação brasileira das indústrias de óleos vegetais.** 2022. Disponível em: https://abiove.org.br. Acesso em: 10 maio 2022.

ABRA. **Associação brasileira de reciclagem animal. 2022.** Disponível em: https://abra.ind.br/. Acesso em: 15 maio 2022.

BABADI, Arman Amani; RAHMATI, Shahrooz; FAKHLAEI, Rafieh; BARATI, Bahram; WANG, Shuang; DOHERTY, William; OSTRIKOV, Kostya (Ken). **Emerging technologies for biodiesel production:** processes, challenges, and opportunities. Processes, challenges, and opportunities. 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0961953422001830. Acesso em: 14 abr. 2022.

BELLAVER, Claudio. **Uso de resíduos de origem animal na alimentação de frangos de corte. 2002.** Disponível em: http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/anais0204_bsa_bellaver.pdf. Acesso em: 20 maio 2022.

BONOMETO, Ricardo Pacheco. **Análise energética do processo experimental de produção de biodiesel a partir de óleo de frango**. 2009. 58 f. Tese (Mestrado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2009.

BRASILINO, M. DAS G. A. **Avaliação da estabilidade oxidativa do biodiesel de pinhão.** Paraíba, 2010.

CANESIN, Edmilson Antonio; LIMA, Guilherme Otavio; CANESIN, Guilherme Zago. **Avaliação de propriedades físico-químicas de óleos residuais bovinos e de frangos e do biodiesel metílico e etílico obtidos por catálise básic**. 2020. Disponível em: https://brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/8434. Acesso em: 20 maio 2022.

CARVALHO, Ana Carolina de Oliveira. **Características físico-químicas de óleos vegetais comestíveis puros e adulterados.** 2017. Disponível em: https://ead.uenf.br/moodle/pluginfile.php/5536/mod_resource/content/4/Monografia%20-%20Ana%20Carolina%20de%20Oliveira%20Carvalho-%20L%20Qui.pdf. Acesso em: 20 jun. 2022.

CARVALHO, Joaquim Francisco de. Combustíveis fósseis e insustentabilidade. **Energia, ambiente e sociedade**, São Paulo, v. 60, n. 3, p. 30-33, set. 2008.

CEPEA - Centro de estudos avançados em economia aplicada (Piracicaba Sp). **PIB do agronegocio**. 2022. Disponível em: https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_CNA_PIB_JAn_Dez_2021_Mar%C3%A7o2022.pdf. Acesso em: 20 maio 2022.

CHIARELOTTO, Maico; RESTREPO, Juan Camilo Pires Salcedo; LORIN, Higor Eisten Francisconi; DAMACENO, Felippe Martins. **Composting organic waste from the broiler production chain:**:

a perspective for the circular economy. A perspective for the circular economy. 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621038944. Acesso em: 20 abr. 2021.

CHONG, Cheng Tung; LOE, Ting Yu; WONG, Kang Yao; ASHOKKUMAR, Veeramuthu; LAM, Su Shiung; CHONG, Wen Tong; BORRION, Aiduan; TIAN, Bo; NG, Jo-Han. **Biodiesel sustainability:**: the global impact of potential biodiesel production on the energy⁝water⁝food (ewf) nexus. The global impact of potential biodiesel production on the energy–water–food (EWF) nexus. 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352186421000560. Acesso em: 19 abr. 2022.

CICONELLO, Wellinton dos Santos. **Produção de biodiesel a partir de óleo residual de frango**. 2018. 39 f. Trabalho de conclusão de curso - Curso de Licenciatura em Química, Departamento Acadêmico de Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2018.

CICONELLO, Wellinton dos Santos. **Produção de biodiesel a partir de óleo residual de frango**. 2018. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6102/1/biodieseloleoresidualfrango.pdf. Acesso em: 20 junho 2022.

CUETOS, Maria José; MARTINEZ, E. Judith; MORENO, Rubén; GONZALEZ, Rubén; OTERO, Marta; GOMEZ, Xiomar. **Enhancing anaerobic digestion of poultry blood using activated carbon**. 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090123216301096. Acesso em: 20 abr. 2022.

DIRCEU TALAMINI (ed.). **Panorama da avicultura e do mercado de carnes**: cias central de inteligência de aves e suínos. CIAS Central de Inteligência de aves e suínos. 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/conjuntura. Acesso em: 20 maio 2022.

EMBRAPA. **Estatísticas CIAS**. 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas. Acesso em: 20 maio 2022.

FEISTEL, J. C. **Tratamento e destinação de resíduos e efluentes de matadouros e abatedouros.** 2011. Trabalho Acadêmico (Mestrado em Ciência Animal) - Escola de Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/67o/semi2 011_2c.pdf>. Acesso em: 20 maio 2022

FEISTEL, Janaina Costa. **Tratamento e destinação de resíduos e efluentes de matadouros e abatedouros**. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/67/o/semi2011_Janaina_Costa_2c.pdf. Acesso em: 10 jun. 2022.

FERREIRA, Agmar. **Estudo de viabilidade técnica e econômica da utilização do lodo flotado proveniente do tratamento de efluentes de um frigorifico de aves como biomassa para produção de vapor**. 2016. Disponível em: https://core.ac.uk/download/pdf/147521442.pdf. Acesso em: 20 jun. 2022.

PIRMORADI, Neda; GHANEIAN, Mohammad Taghi; EHRAMPOUSH, Mohammad Hassan; SALMANI, Mohammad Hossein; HATAMI, Behnam. **The conversion of poultry slaughterhouse wastewater sludge into biodiesel: Process modeling and optimization**. 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148121010211. Acesso em: 12 jun. 2022.

GOMES, Luis Fernando Souza. **Potencial de produção de biodiesel a partir do óleo de frango nas cooperativas do oeste do Paraná**. 2005. 81 f. Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2005.

GOMES, Luis Fernando Souza; SOUZA, Samuel Nelson Melegari de; BARICCATTI, Reinaldo Aparecido. Biodiesel produzido com óleo de frango. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 57-62, 2008.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. Métodos físico-químicos para análises de alimentos.** 4ª ed. (1ª Edição digital), 2008. 1020 p.

KIRUBAKARAN, M.; SELVAN, V. Arul Mozhi. **A comprehensive review of low cost biodiesel production from waste chicken fat**. 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211731287X#bib38. Acesso em: 21 maio 2020.

LIMA, Bruno Felipe de. **Síntese de biodiesel a partir da reação de transesterificação de óleo de soja etílico catalisado por hidróxidos duplos lamelares**. 2020. Disponível em: http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/7739. Acesso em: 22 maio 2022.

LORENCETTI, Grasielle Adriane Toscan. **Gerenciamento de resíduos sólidos em uma unidade de abate de aves no sudoeste do Paraná.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2018.

MACIEL, Rudimar Henrique de Andrade; DUARTE, Eduarda Bertoletti; REZENDE, Luciana Cristina Soto Herek. **Utilização do resíduo do setor de abate para promoção de tecnologias limpas**: uma revisão da literatura. 2021. Disponível em: http://periodicos.unincor.br/index.php/revistaunincor/article/view/6404. Acesso em: 20 jun. 2022.

manso (Jatropha curcas L.) e suas misturas ao diesel. [s.l.] Universidade Federal de

MOREIRA, Ana Luísa de Vasconcelos. **Produção de biodiesel a partir de gordura de frango**. 2009. 50 f. Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade do Porto, Porto, 2009.

MOZHIARASI, Velusamy; NATARAJAN, Thillai Sivakumar. **Slaughterhouse and poultry wastes: management practices, feedstocks for renewable energy production, and recovery of value added products**. 2022. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-022-02352-0#ref-CR58. Acesso em: 10 jun. 2022.

ODETOYE, T.e.; AGU, J.O.; AJALA, E.O.. **Biodiesel production from poultry wastes:**: waste chicken fat and eggshell. Waste chicken fat and eggshell. 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221334372100631X. Acesso em: 10 abr. 2022.

ODETOYE, T.e.; AGU, J.O.; AJALA, E.O.. **Biodiesel production from poultry wastes**: waste chicken fat and eggshel. Waste chicken fat and eggshel. 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221334372100631X. Acesso em: 23 maio 2022.

OLIVEIRA, Flavia C.C.; SUAREZ, Paulo A.Z.; SANTOS, Wildson L.P. dos. **Biodiesel: Desafios e possibilidades**: biocombustíveis ara a substituição do diesel. Biocombustíveis ara a substituição do diesel. Disponível em: http://zeus.qui.ufmg.br/~qgeral/downloads/material/biodiesel.pdf. Acesso em: 15 mar. 2022.

OLIVEIRA, Henrique Belchior de. **Análise imediata e avaliação do poder calorífico superior das espécies**: combretum leprosum mart. (mofumbo) e anadenanthera macrocarpa (benth.) brenan (angico). Combretum leprosum Mart. (MOFUMBO) e Anadenanthera macrocarpa (Benth.) Brenan (ANGICO). 2018. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/54927/3/2018_tcc_hbdoliveira.pdf. Acesso em: 15 maio 2022.

OZDEMIR, Saim; Simsek, Aslı; OZDEMIR, Serkan; DEDEC, Cemile. **Investigation of poultry slaughterhouse waste stream to produce bio-fuel for internal utilization**. 2022. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148122003974#bib1. Acesso em: 10 abr. 2022.

ATKINS, J. de Paula, Atkins' Physical Chemistry, 10th Edition, Oxford University Press, United Kingdom, 2014

PARIS. International energy agency. **Word Energy Balances**. 2020. Disponível em: https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview. Acesso em: 21 maio 2022.

PAULO, Federação da Agricultura do Estado de São (ed.). **Setor agropecuário aumenta participação no PIB brasileiro**. 2022. Disponível em: https://www.avisite.com.br/setor-agropecuario-aumenta-participacao-no-pib-brasileiro/. Acesso em: 10 maio 2022.

PEREIRA, Thiago Voigtlander; SEYE, Omar. **Caracterização fisica termina de biomassa local**. 2014. Dourados-MS. Disponível em: http://eventos.ufgd.edu.br/enepex/anais/arquivos/393.pdf. Acesso em: 15 maio 2022.

RABELO, Mariane Helena Sanches; SILVA, Eric Keven; PERES, Alexandre de Paula. **Análise de modos e efeitos de falha na avaliação dos impactos ambientais provenientes do abate animal**: engenharia sanitária e ambiental. Engenharia sanitária e ambiental. 2014. Disponível em: https://www.scielo.br/j/esa/a/gHGWdp3DmhgGnKRK6Ljhc6x/?format=pdf. Acesso em: 27 maio 2022.

RODRIGUES, A.C.C.. **Policy, regulation, development and future of biodiesel industry in Brazil**. 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666790821001579. Acesso em: 20 fev. 2022.

RODRIGUES, Alexandre Couto; PASSAGLIA, Rúbia Carla; FOCKING, Andriele; PASSINI, Aline Ferrão Custódio; PAZINI, Claudia Regina. **Técnica de compostagem aplicada a lodo flotado de um abatedouro de frangos. Enciclopédia biosfera**, Goiânia, v. 13, n. 24, p. 980-990, dez. 2016.

RONDON, **Edgar Orlando Oviedo. Echnologies to mitigate the environmental impact of broiler production**. 2008. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbz/a/pPRGCzxhPLQXszg9wHdFNJB/?lang=en#. Acesso em: 27 maio 2022.

SARIN, Amit. **Biodiesel**: production and properties. Amritsar, India: Royal Society Of Chemistry, 2012.

SHAFIQ, Fatima; MUMTAZ, Muhammad Waseem; MUKHTAR, Hamid; TOUQEER, Tooba; RAZA, Syed Ali; RASHID, Umer; NEHDI, Imededdine Arbi; CHOONG, Thomas Shean Yaw. **Response surface methodology approach for optimized biodiesel production from waste chicken fat oil**. 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4344/10/6/633/htm. Acesso em: 20 abr. 2022.

WAHYONO, Yoyon; HADIYANTO, Hadiyanto; GHEEWALA, Shabbir H.; BUDIHARDJO, Mochamad Arief; ADIANSYAH, Joni Safaat. **Evaluating the environmental impacts of the multi-feedstock biodiesel production process in Indonesia using life cycle assessment (LCA)**. 2022. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890422006288. Acesso em: 02 abr. 2022.

WANG, Chao; BHATIA, Shashi Kant; MANIGANDAN, S.; YANG, Rui; ALHARBI, Sulaiman Ali; NASIF, Omaima; BRINDHADEVI, Kathirvel; ZHOU, Bing. **Comparative assessment of waste cooking, chicken waste and waste tire biodiesel blends on performance and emission characteristics**. 2022. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236122007189. Acesso em: 23 abr. 2022.