

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
GOIÁS
CÂMPUS ITUMBIARA
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

NATHALIA AUGUSTA URBANO CAETANO

**ANÁLISE DE VARIÁVEIS NO PROCESSO DE TRANSESTERIFICAÇÃO
PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DA GORDURA DE
FRANGO**

**ITUMBIARA-GO
2019**



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia - Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Nathalia Augusta Urbano Caetano

Matrícula: 20161040030048

Título do Trabalho: Análise de variáveis no processo de transesterificação para a produção de biodiesel a partir da gordura de frango

Autorização - Marque uma das opções

- ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
- ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
- ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Itumbiara 05/11/2020
Local Data

Nathalia Augusta Urbano Caetano
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

NATHALIA AUGUSTA URBANO CAETANO

**ANÁLISE DE VARIÁVEIS NO PROCESSO DE TRANSESTERIFICAÇÃO
PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DA GORDURA DE
FRANGO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca avaliadora do Curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Itumbiara, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Licenciada em Química.

Orientadora: Profa. Dra. Tatiana Aparecida Rosa da Silva.

**ITUMBIARA-GO
2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C128a Caetano, Nathalia Augusta Urbano
Análise de variáveis no processo de transesterificação para a
produção de biodiesel a partir da gordura de frango / Nathalia Augusta
Urbano Caetano. – Itumbiara, 2020.
46 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Química) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus
Itumbiara, 2020.

Orientadora: Dra. Tatiana Aparecida Rosa da Silva

1. Biodiesel. 2. Biocombustíveis. 3. Energia – Fontes alternativas.
I. Título. II. Silva, Tatiana Aparecida Rosa da. III. Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

CDD 665.2

NATHALIA AUGUSTA URBANO CAETANO

**ANÁLISE DE VARIÁVEIS NO PROCESSO DE TRANSESTERIFICAÇÃO PARA A
PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DA GORDURA DE FRANGO**

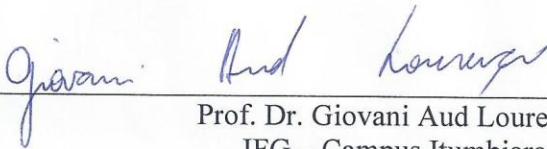
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Licenciatura em Química do
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás (IFG), Câmpus Itumbiara, como parte dos
requisitos para a conclusão do Curso de Licenciatura
em Química e obtenção do título de licenciada em
Química.

Área de concentração: Química Orgânica/Biocombustíveis.

Aprovada em 09 de dezembro de 2019.



Profa Dra. Tatiana Aparecida Rosa da Silva
Orientadora
IFG – Câmpus Itumbiara



Prof. Dr. Giovani Aud Lourenço
IFG – Campus Itumbiara



Profa. Ma. Letícia de Moura Sousa
IFG – Campus Itumbiara

*Dedico mais essa vitória à Deus,
A minha querida mãe Maria,
Aos meus irmãos Laura e Paulo Henrique
E ao meu namorado Wendher!
Vocês são a minha fortaleza e meu porto-seguro,
Amo vocês!*

*“Ninguém caminha sem aprender a caminhar, sem aprender a fazer o caminho caminhando,
refazendo e retocando o sonho pelo qual se pôs a caminhar. ”*

Paulo Freire

AGRADECIMENTOS

O meu primeiro agradecimento não poderia ser diferente. Eu agradeço a Deus por mais essa conquista em minha vida, pois a fé sempre foi a minha inspiração durante esses quatro anos de caminhada.

Agradeço imensamente ao apoio da minha família, que sempre foram a minha fortaleza. A minha mãe Maria, por sempre ter estado ao meu lado, não me deixando desistir. Aos meus irmãos Laura e Paulo Henrique, pois sem eles eu seria incompleta. E ao meu namorado Wendher, por ser o meu apoio e meu incentivo em todas as horas.

Não posso deixar de agradecer ao IFG – Campus Itumbiara, pois durante quatro anos foi a minha segunda casa. Agradeço também a minha querida orientadora Tatiana pelos ensinamentos e lições, e a todos os professores que fizeram parte da minha jornada acadêmica.

E por fim, agradeço aos meus queridos e amados amigos de faculdade, em especial a Alessandra, Thainá, Ana Carolina e Ludmilla, por nunca me abandonarem, pelas palavras de força e incentivo, e por terem tornado a minha graduação mais feliz.

Muito obrigada!

RESUMO

Diante da necessidade, se discute alternativas de geração e utilização de recursos energéticos renováveis e que causem o menor prejuízo possível ao meio ambiente, como, por exemplo, a redução da emissão de gases causadores de efeito estufa. Com base nessa problemática e, também, na crescente escassez de combustíveis fósseis e, conseqüentemente o seu preço cada vez mais elevado, que essa pesquisa foi desenvolvida. Em busca de uma alternativa de matéria-prima para a produção do Biodiesel, encontrou-se a gordura de frango, que é um resíduo originado nos frigoríficos e na maioria das vezes não tem um destino certo e sustentável. O Biodiesel produzido com a gordura de frango é obtido através de uma reação de transesterificação. Além da reação, nesse trabalho foram feitas as análises de caracterização físico-química da gordura de frango e no biodiesel de maior rendimento em massa. Os resultados finais da produção do biodiesel obtidos foram positivos, um biodiesel com característica dentro das normas da ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustível) e com a produção desejável. As variáveis do processo precisam ser revistas, por conta da influência que elas exerceram no processo. Com isso, o sucesso desse trabalho é uma visão para o futuro com aplicação dele em maior escala, como forma de destinação sustentável para o resíduo de gordura de frango, menos emissão de gases geradores do efeito estufa e uma saída para escassez de combustíveis fósseis.

Palavras-chave: *biodiesel, gordura de frango, transesterificação.*

ABSTRACT

In view of the need, alternatives are discussed for the generation and use of renewable energy resources that cause the least possible damage to the environment, such as, for example, the reduction of greenhouse gas emissions. Based on this problem and on the growing scarcity of fossil fuels and, consequently, its increasingly high price, that this research was developed. In search of an alternative raw material for the production of Biodiesel, chicken fat was found, which is a waste originated in the slaughterhouses and most of the times it does not have a certain and sustainable destination. Biodiesel produced with chicken fat is obtained through a transesterification reaction. In addition to the reaction, this work carried out analyzes of the physical-chemical characterization of chicken fat and biodiesel with higher mass yield. The final results of the production of biodiesel obtained were positive, a biodiesel with characteristic within the norms of the ANP (National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuel) and with the desirable production. The process variables need to be revised, due to the influence they have had on the process. With this, the success of this work is a vision for the future with its application on a larger scale, as a way of sustainable destination for chicken fat residue, less emission of greenhouse gases and an fossil fuel shortages.

Key words: *Biodiesel, chicken fat, transesterification.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Padrões de qualidade do Biodiesel

Figura 02 - Matérias-primas mais utilizadas na produção de Biodiesel (2017)

Figura 03 - Evolução da produção de Biodiesel (B100) – 2008 - 2017

Figura 04 - Composição em ácidos graxos, índices de iodo e saponificação e pontos de amolecimento e fusão (°C) da gordura de frango e de suas frações estearina e oleína obtidas pelo fracionamento a 20 °C

Figura 05 - Reação global de transesterificação

Figura 06 - Esquema das etapas da reação de transesterificação por catálise básica

Figura 07 - Matéria-prima *in-natura*

Figura 08 - Matéria-prima em aquecimento

Figura 09 - Matéria-prima depois de aquecida

Figura 10 - Matéria-prima em decantação

Figura 11 - Gordura de Frango

Figura 12 - Reação de transesterificação

Figura 13 - Separação Biodiesel e Glicerol

Figura 14 - Lavagem do Biodiesel

Figura 15 - Biodiesel final

Figura 16 - Gráfico de Pareto: influência das variáveis

Figura 17 – Experimento 4

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Valores usados em cada nível das variáveis na reação de transesterificação no planejamento experimental.

Tabela 02 - Matriz do planejamento fatorial.

Tabela 03 - Caracterização físico-química da gordura de frango.

Tabela 04 - Rendimento da produção de acordo com a matriz do planejamento fatorial com o rendimento.

Tabela 05 - Índice de acidez dos biodieseis produzidos.

Tabela 06: Densidade do Biodiesel do experimento 6.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos.....	15
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivos específicos	15
1.2 Justificativa	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 O Biodiesel.....	17
2.2 A Gordura de Frango como matéria-prima.....	21
2.3 Processos de produção de Biodiesel e a reação de transesterificação	22
2.4 Análise de variáveis na reação de transesterificação	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1 Obtenção, extração e tratamento da matéria-prima.....	25
3.2 Caracterização físico-química da matéria-prima.....	25
3.2.1 Índice de acidez	25
3.2.2 Densidade	26
3.3 Produção do Biodiesel	26
3.4 Caracterização físico-química do Biodiesel.....	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Relatos da extração, tratamento e caracterização físico-química da matéria-prima.....	30
4.2 Rendimento da transformação da matéria-prima em biodiesel	33
4.3 Caracterização físico-química do Biodiesel.....	38
5 CONCLUSÃO.....	41
REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

Mundialmente, se discute alternativas de geração e utilização de recursos energéticos renováveis e que causem o menor dano possível ao ambiente, como, por exemplo, reduzindo-se a emissão de gases geradores de efeito estufa (CAMARÂ; HEIFFIG, 2006). O progressivo esgotamento dos combustíveis de origem fóssil e o aumento da poluição ambiental nas grandes cidades vêm sendo assuntos de preocupação mundial.

A escassez de petróleo e gás natural é prevista ainda para esse século, sendo que essas fontes energéticas são grandes responsáveis pelas emissões gasosas que tem provocado o aumento da temperatura do planeta e problemas à saúde da população (ENCARNAÇÃO, 2008). A maior parte de toda a energia consumida no mundo provém do petróleo, uma fonte limitada, finita e não renovável. A cada ano que passa, aumenta o consumo de combustíveis derivados do petróleo e, conseqüentemente, o aumento da poluição atmosférica e da ocorrência de chuvas ácidas.

O biodiesel é um combustível obtido a partir de matérias-primas vegetais ou animais. O biodiesel compõe, junto com o etanol, importante oferta para o segmento de combustíveis. Ambos são denominados de biocombustíveis por derivarem de biomassa (matéria orgânica de origem vegetal ou animal que pode ser utilizada para a produção de energia) e por serem menos poluentes, além disso, renováveis. A definição para biodiesel adotada na Lei nº 11.097, de 13 de setembro de 2005, que introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira, é: “Biodiesel: biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil.” (EMBRAPA, 2007).

A crescente expansão da produção de carne de frango no Brasil e a necessidade de melhorar a qualidade do produto oferecido aos consumidores têm gerado um grande volume de material residual. Este resíduo geralmente não é aproveitado pelas indústrias que o descartam contribuindo enormemente para aumento da poluição ambiental. Dessa forma, a utilização da gordura de frango como fonte para produção de energia, na forma de biodiesel, pode ser uma ótima alternativa e ainda contribuir com a conservação do meio ambiente (DELGADO; CESTARI, 2010). O processo mais comum de obtenção de biodiesel é a transesterificação de

óleos vegetais e gorduras animais (ENCARNAÇÃO, 2008). O Biodiesel é definido quimicamente como um éster de ácido graxo de cadeia longa derivado de fontes de lipídios renováveis, como óleos vegetais ou gorduras animais. O uso dos triglicerídeos como matéria-prima predominante para a produção de biodiesel provém da relativa facilidade com que são convertidos em ésteres alquílicos simples por transesterificação química.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar através de um planejamento fatorial fracionado $2k^{-1}$ as variáveis que afetam de forma significativa a produção de biodiesel.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar os testes físico-químicos de Índice de Acidez e Densidade na matéria-prima;
- Produzir o Biodiesel metílico por meio da reação de transesterificação alcalina;
- Reproduzir os mesmos testes físico-químicos com os Biodieseis produzidos, para a certificação da qualidade.
- Analisar as variáveis razão molar, catalisador, tempo de reação e temperatura em um planejamento fatorial fracionário $2k^{-1}$.

1.2 Justificativa

Os países industrializados contam, em sua grande maioria, com o consumo de energia proveniente de fontes esgotáveis, como o petróleo. A formação do petróleo é caracterizada pelo acúmulo de material orgânico sob condições específicas de pressão e isolamento em camadas do subsolo de bacias sedimentares, sofrendo transformações por milhares de anos, e por isso é considerado um recurso de fonte não renovável. A grande demanda de energia atrelada ao esgotamento dos recursos implicará em crescentes custos para os consumidores dos mais diversos ramos: donos de grandes indústrias, produtores rurais e a população urbana que depende da

utilização de veículos automotores. Por conta da grande utilização desses recursos no mundo inteiro, deve-se levar em consideração os impactos ambientais causados pelo uso de combustíveis fósseis. O dióxido de carbono (CO_2), gás liberado durante a queima desse tipo de combustível é o principal responsável pelo aquecimento global. O dióxido de enxofre (SO_2), um dos poluentes liberados também na combustão de combustíveis fósseis é a causa principal da chuva ácida. As mudanças climáticas, como o aumento da temperatura média global que acarreta na elevação do nível dos oceanos, alterações no perfil climático e nas precipitações pluviométricas, são algumas das consequências do uso desse tipo de combustível. Portanto os novos combustíveis deverão, além de suprir a demanda de consumo, ser um meio renovável e menos poluente. Justamente, devido a essas questões que o Biodiesel poderá ganhar um destaque no cenário nacional e mundial. O biodiesel foi criado com a finalidade de substituir o diesel a fim de diminuir a quantidade de poluentes liberados na atmosfera. Além disso, o Biodiesel é um ótimo lubrificante, aumenta a qualidade do motor, possui baixo risco de explosão, não libera resíduos no motor, aceita misturas com o diesel, absorve menor quantidade de oxigênio, é constituído por carbono neutro capturado pelas plantas. Com isso, o Biodiesel pode ser usado para geração de energia em substituição ao óleo diesel e ao óleo combustível (NASCIMENTO, 2016).

Uma aplicação alternativa para o biodiesel e que pode ser muito interessante para a realidade brasileira, é na geração de energia elétrica. Visto que o Brasil vive um momento de incentivo à produção desse novo combustível, pode-se aproveitar desse contexto como uma ótima oportunidade de melhorar a distribuição de energia no país, seja no sistema elétrico interligado ou em cargas isoladas, levando energia a regiões não servidas por linhas de transmissão. Isso agrega mais uma vantagem ao novo produto, aumentando ainda mais seu valor (CASAGRANDE et. al., 2008).

Os biocombustíveis têm papel importante quanto à substituição, mesmo que parcial, de combustíveis fósseis. São inúmeras as possibilidades de matérias-primas para a produção de biodiesel, mas nem todas são economicamente viáveis. O uso da gordura de frango como matéria-prima tem-se mostrado promissora para a produção de biocombustível com satisfatória qualidade e preço vantajoso, vindo a ser uma alternativa ao uso de óleos vegetais de alto valor agregado (ABDOLI et.al., 2014).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O Biodiesel

A história do biodiesel inicia-se em 1895, quando dois grandes visionários, Rudolf Diesel e Henry Ford, descobriram nos óleos vegetais um combustível e um caminho para o desenvolvimento industrial. Pesquisaram diversos combustíveis que pudessem ser utilizados em motores, entre eles o álcool produzido a partir de biomassa. Embora tivessem seus sonhos para o desenvolvimento dos combustíveis de biomassa adiados pelo rápido avanço da indústria do petróleo, deixaram sementes férteis (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2006).

O biodiesel, biocombustível derivado de fonte renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão, contribui para a redução da temperatura global do planeta e dos custos com a saúde, proporciona emprego e renda, é totalmente miscível em óleo diesel mineral, aumenta a lubricidade do combustível melhorando o desempenho do motor, é biodegradável e não tóxico. Diante de tantas vantagens o governo incluiu o biodiesel na matriz energética brasileira e definiu volume mínimo obrigatório da mistura do biocombustível no diesel mineral. Dessa forma, o biodiesel inicia um novo ciclo do setor nacional de energia e reforça a promoção do uso de fontes renováveis e a diversificação da matriz energética (ENCARNAÇÃO, 2008).

A ANP aprovou no dia 06 de agosto de 2019, o despacho que fixa o percentual de adição de até 15% (quinze por cento), em volume, de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, devendo o percentual mínimo obedecer ao cronograma previsto na Resolução CNPE nº 16, de 2018. Com essa medida, a partir de 01/09/2019, o percentual mínimo de biodiesel a ser acrescido ao óleo diesel comercializado passou a ser de 10% para 11% (ANP, 2019)

Segundo a ANP, o biodiesel é um combustível renovável obtido a partir de um processo químico denominado transesterificação. Por meio desse processo, os triglicerídeos presentes nos óleos e gordura animal reagem com um álcool primário, metanol ou etanol, gerando dois produtos: o éster e a glicerina. O primeiro somente pode ser comercializado como biodiesel, após

passar por processos de purificação para adequação à especificação da qualidade, sendo destinado principalmente à aplicação em motores de ignição por compressão (ciclo Diesel).

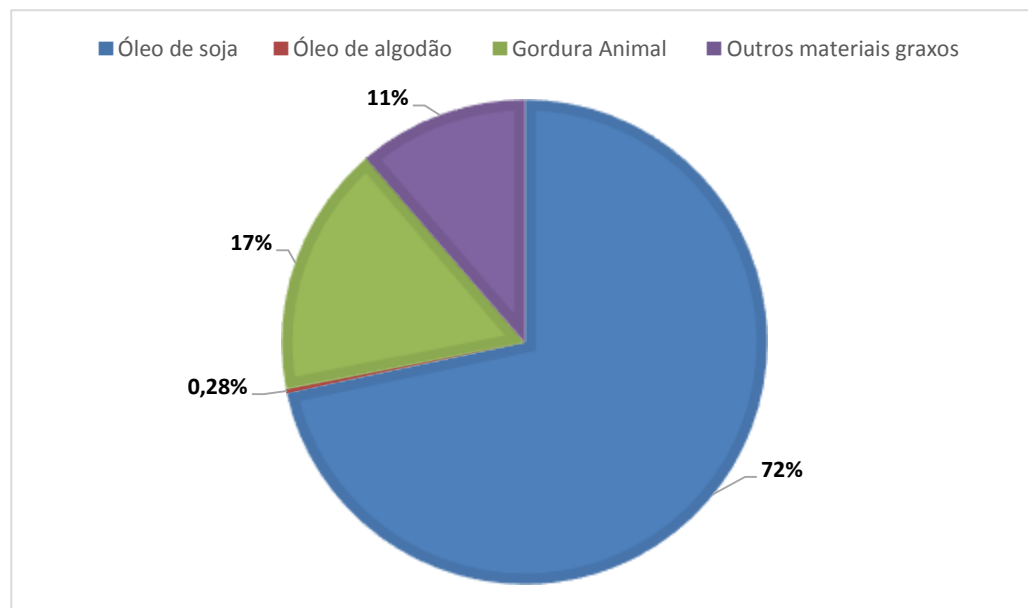
Figura 1: Padrões de qualidade do biodiesel

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	Brasil ANP 07/2008	UE EN 14214	EUA ASTM D6751
Aspecto	---	Límpido e isento de impurezas	---	---
Massa específica *	kg/m ³	850-900 a 20 °C	860-900 a 15 °C	---
Viscosidade cinemática a 40 °C *	mm ² /s	3,0-6,0	3,5-5,0	1,9-6,0
Água e sedimentos, máx. *	% volume	---	---	0,05
Ponto de fulgor, mín. *	°C	100	120	130
Destilação; 90% vol. recuperados, máx. *	°C	---	---	360
Resíduo de carbono dos, máx. *	% massa	Em 100% da amostra 0,050	10% residual da destilação 0,3	Em 100% da amostra 0,05
Cinzas sulfatadas, máx. *	% massa	0,020	0,02	---
Enxofre total, máx. *	mg/kg	50	10	15
Corrosividade ao cobre, 3 h a 50 °C, máx. *	-	1	1	3
Número de cetanos *	-	Anotar	51 (mín.)	47 (mín.)
Ponto de entupimento de filtro a frio, máx. *	°C	19	Por região	---
Ponto de fluidez (<i>pour point</i> - PP) *	°C	---	Por região	---
Ponto de nuvem (<i>cloud point</i> - CP) *	°C	---	---	Registrar
Sódio + Potássio, máx	mg/kg	5	5	---
Cálcio + Magnésio, máx	mg/kg	5	5	---
Fósforo, máx	mg/kg	10	10	10
Contaminação total, máx	mg/kg	24	24	---
Teor de éster, mín.	% massa	96,5	96,5	---
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	0,50	0,5	0,5
Glicerina livre, máx.	% massa	0,02	0,02	0,02
Glicerina total, máx.	% massa	0,25	0,25	0,24
Monoglicerídeos	% massa	Anotar	0,8 (máx)	---
Diglicerídeos	% massa	Anotar	0,2 (máx)	---
Triglicerídeos	% massa	Anotar	0,2 (máx)	---
Metanol ou Etanol, máx.	% massa	0,20	0,20	---
Índice de iodo	g I ₂ /100 g	Anotar	120 (máx)	---
Estabilidade à oxidação a 110 °C, mín	h	6	6	---
Água, máx	mg/kg	500	500	500
Ácido linolênico	% massa	---	12 max	---
Metil ésteres com mais que 4 insaturações	%mass	---	1 max	---

Fonte: <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2014/agosto&item=ranp-45-2014>

Segundo Knothe (2006), o biodiesel pode ser produzido a partir de uma grande variedade de matérias primas. Estas matérias primas incluem a maioria dos óleos vegetais (exemplo, os óleos de soja, caroço de algodão, palma, amendoim, colza /canola, girassol, açafrão, coco) e gorduras de origem animal (usualmente sebo), bem como óleos de descarte (exemplo, óleos usados em frituras). O Brasil produz biodiesel, em sua maioria, utilizando o óleo de soja como matéria-prima, de acordo com a tabela abaixo, sendo responsável por 72% da produção, seguidos de gordura animal, outros materiais graxos e óleo de algodão:

Figura 2: Matérias-primas mais utilizadas na produção de Biodiesel (2017)

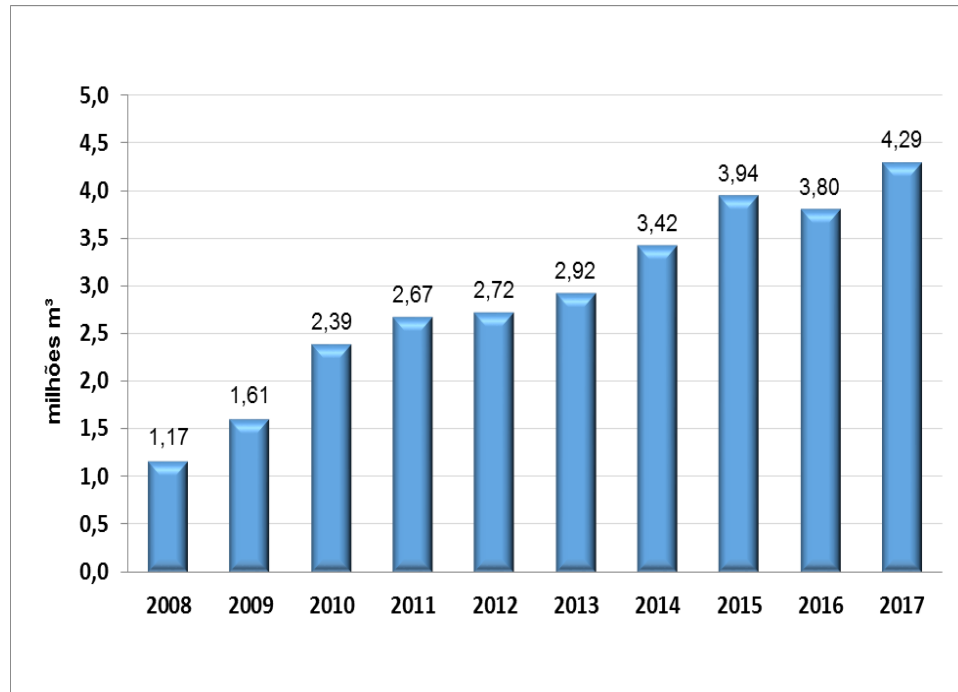


Fonte: autoria própria. Dados: ANP 2019.

Várias matérias-primas podem ser transformadas em biodiesel, como por exemplo, sebo bovino, óleos de peixes e gordura de frango, banha de porco, entre outras matérias graxas são exemplos de matérias-primas de origem animal. No Brasil o sebo bovino é a gordura animal mais utilizada na produção de biodiesel, porém a utilização da gordura de frango tem aumentado significativamente, uma vez que esta gordura é rica em lipídeos, possui baixo custo e propriedades físico-químicas desejáveis. (DELGADO; CESTARI, 2010). A escolha da matéria-prima para a produção de biodiesel depende largamente de fatores geográficos. Dependendo da

origem e da qualidade da matéria-prima, mudanças no processo de produção podem ser necessárias.

Figura 3 – Evolução da produção de Biodiesel (B100) – 2008-2017



Fonte: <http://www.anp.gov.br/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-2018>

A figura acima mostra a evolução da produção de biodiesel entre os anos de 2008 a 2017, onde é possível ver que a produção brasileira cresceu em cerca de 269,82%. Além de muito atrativo economicamente, o Biodiesel é referência em qualidade ambiental. Dentre suas vantagens, destacam-se: emite menos gases poluidores na atmosfera do que o petróleo, não é tóxico, é cem vezes mais biodegradável que o óleo diesel comum, libera menos partículas de enxofre, não produz fumaça preta e de odores desagradáveis. Um dos principais atributos do Biodiesel é a sua capacidade de reduzir a emissão de gases poluentes, contribuindo para a diminuição do efeito estufa. (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2006)

O cenário internacional desenhado pela escassez de petróleo que se avizinha em aproximadamente 40 anos e pelas mudanças climáticas geradas pela queima de combustíveis

fósseis soma-se às características da economia brasileira para pressionar pelo forte aumento da produção de energia a partir da biomassa neste início do século XXI (NASCIMENTO, 2016).

Os biocombustíveis apresentam-se como um contributo para responder aos problemas energéticos atuais, pois são obtidos de fontes renováveis e são capazes de fornecer energia com menores emissões de poluentes atmosféricos. Dentre todos os biocombustíveis, é de salientar o bioetanol e o biodiesel. O bioetanol pode ser utilizado em veículos de transporte, em mistura ou como substituição da gasolina, enquanto que o biodiesel pode ser utilizado em mistura, ou como substituição do diesel mineral (MOREIRA, 2009).

2.2 A Gordura de Frango como matéria-prima

Segundo o relatório anual da Associação Brasileira de Proteína Animal - ABPA (2014) o Brasil apresenta um dos maiores índices de consumo médio de frango por habitante, que se elevou de 29,9 para 42,78 kg entre 2000 e 2014, produzindo cerca de 12,69 milhões toneladas de frango, nos quais 4.099 mil toneladas são exportadas. Com o aumento da demanda da carne de frango, consumida principalmente em corte, a gordura retirada da cavidade abdominal tem sido considerada um subproduto, sendo utilizado em rações animais, sabão, e mais recentemente para produção de energia, como o biodiesel (CENTENARO; FURLAN; SOUZA-SOARES, 2008).

No abate de aves cerca de 30% do peso da ave viva é rejeitado na forma de resíduos, compostos por sangue, penas, vísceras e ossos, dos quais se obtém cerca de 11% de gordura (GOMES; BARICCATI; SOUZA, 2004). No Brasil, é proibida a utilização de produtos destinados à alimentação de ruminantes que contenham em sua composição proteínas e gorduras de origem animal, pois apresentam risco de transmissão de botulismo e Encefalopatia Espongiforme Bovina (EEB), conhecida popularmente como "Doença da Vaca Louca" (BRASIL, 2004). Uma alternativa para a gordura residual das aves é a produção de óleo para servir de matriz para a fabricação de Biodiesel.

Quando comparado ao biodiesel de óleos vegetais, o obtido a partir da gordura animal apresenta vantagens como: maior número de cetano (que mede a qualidade de ignição de um combustível para máquinas diesel e tem influência direta na partida do motor e no seu

funcionamento sob carga) e também apresenta maior estabilidade de oxidação e menor índice de iodo, que indica a quantidade de insaturações presente na gordura (AGEITEC).

A crescente expansão da produção de carne de frango no Brasil, e a necessidade de produtos de maior qualidade geram maior quantidade de resíduos de gorduras. Um estudo sobre a potencialidade da gordura de frango para a produção de biodiesel revelou que a contribuição da gordura abdominal e da pele do peito de frango é de 12 a 20% da necessidade de matéria prima para a mistura de 2% de biodiesel ao diesel mineral (RODRIGUES e colaboradores, 2008). Segundo o relatório anual da ABPA, o estado de Goiás foi o responsável pelo abate de frangos num percentual de 7,15% e 4,34% da exportação, em 2017.

Figura 4: Composição em ácidos graxos, índices de iodo e saponificação e pontos de amolecimento e fusão (°C) da gordura de frango e de suas frações estearina e oleína obtidas pelo fracionamento a 20 °C.

Ácidos Graxos (%)	Gordura de frango	Estearina	Oleína
C14:0 mirístico	0,6	0,8	0,8
C16:0 palmítico	24,7	34,2	24,5
C16:1 palmitoléico	7,1	6,3	7,8
C18:0 esteárico	6,0	9,1	3,5
C18:1 oléico	43,4	38,6	43,8
C18:2 linoléico	17,2	10,8	18,6
C18:3 α -linolênico	1,0	0,2	1,0
Σ Saturados	31,3	44,1	28,8
Σ Monoinsaturados	50,5	44,9	51,6
Σ Poliinsaturados	18,2	11,0	19,6
Índice de Iodo (g iodo/100 g)	76	59	80
Índice de Saponificação (mg KOH/g)	196	198	197
Ponto de amolecimento (°C)	31,8	44,1	17,0
Ponto de fusão (°C)	34,2	47,0	19,0

Fonte: Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences vol. 43, n. 3, jul./set., 2007.

A figura acima descreve a composição em ácidos graxos da gordura de frango. A gordura de frango, com composição descrita na figura 4, à exceção de outras gorduras animais como o sebo bovino e suíno, apresenta consistência líquida, devido à menor quantidade de ácidos graxos saturados. Essa propriedade favorece a reação pela diminuição do ponto de fusão dos lipídeos (GOMES, 2010).

2.3 Processos de produção de Biodiesel e a reação de transesterificação

Os óleos e as gorduras são formados por três moléculas de ácidos graxos ligadas a uma de glicerina (subproduto convertido em sabão). Durante a produção do Biodiesel, o composto Glicerol (glicerina) é removido do biocombustível tornando o óleo mais fino e menos viscoso. Existem três processos conhecidos para a produção do biodiesel: a transesterificação, o craqueamento térmico e a esterificação. (BIODIESEL BRASIL, 2013)

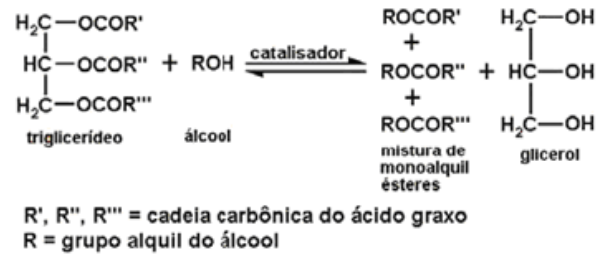
O processo de transesterificação é o mais difundido no mundo, assim como no Brasil, envolve a reação química de triglicerídeos, ou seja, óleos e gorduras vegetais ou animais, com álcoois (metanol ou etanol), catalisada por uma base (mais usual), ácido ou enzima, formando um éster (biodiesel) e glicerina (PLANO NACIONAL DE AGROENERGIA, 2006).

A reação de transesterificação também pode ser chamada de alcoólise e é caracterizada por uma reação onde um triacilglicerídeo (matéria-prima) reage com um álcool (preferencialmente de cadeia curta), na presença de um catalisador ácido ou básico, produzindo ésteres alquílicos e glicerol. Estes produtos devem ser formados a partir da quebra de moléculas dos triacilglicerídeos (ALVES, 2012 p. 31).

Na transesterificação acontece a obtenção de um éster (substância obtida da reação química entre um álcool e um ácido carboxílico) a partir de outro. O método é o mais utilizado, pois, acontece em apenas uma etapa, onde o composto orgânico se processa na presença de um catalisador.

Tipicamente a reação de transesterificação é promovida por catalisadores básicos. Sendo assim, neste tipo de reação é comum a utilização de Hidróxido de sódio (NaOH) ou de Hidróxido de potássio (KOH) como catalisador, que são facilmente solúveis, por exemplo, em metanol, formando metóxido de sódio ou de potássio, além de aumentar a velocidade e o rendimento da reação. Também é possível utilizar catalisadores ácidos, como é o caso da transesterificação por catálise ácida, mas esta é uma prática menos usual (BORGES; DÍAZ, 2012).

Figura 5: Reação global de transesterificação

Figura 5: Reação global de transesterificação

Fonte: EMBRAPA, 2019.

Para que o biodiesel seja considerado especificado pela ANP através da Resolução N°07/2008, a reação de transesterificação deve ser completa, ou seja, sem a presença de ésteres de glicerol remanescentes, com alta pureza, sem traços de glicerina, catalisador e excedentes de álcool da reação, além de ter que atender a rigorosas análises (ANP, RESOLUÇÃO ANP N° 7, DE 19.3.2008 - DOU 20.3.2008 s.d.).

2.4 Análise de variáveis na reação de transesterificação

Nos dias atuais, em decorrência das necessidades da sociedade moderna, a pesquisa científica tem promovido grandes avanços em todos os campos da ciência, gerando uma gama crescente de dados e informações, sendo que para a devida exploração e o correto entendimento, a aplicação de ferramentas estatísticas torna-se indispensável (PEREIRA-FILHO;POPPI;ARRUDA, 2002).

Segundo Castro (2013), a possibilidade de obtenção de uma grande quantidade de dados numéricos tem crescido em todos os campos da ciência, devido ao desenvolvimento de novas técnicas e instrumentação que permitem uma resposta de forma mais rápida. Neste contexto, a aplicação de ferramentas estatísticas é de fundamental importância, principalmente para explorar e entender uma gama crescente de dados e informações originadas de um sistema. O planejamento fatorial é uma ferramenta estatística importante e simples, porém, pouco empregada ou explorada. A observação dos efeitos de variáveis e interações entre elas é de extrema importância para entender os processos que estão sendo monitorados em um determinado sistema.

Dentre os diversos tipos de planejamento experimental, os sistemas de planejamento fatorial destacam-se pois permitem avaliar simultaneamente o efeito de um grande número de

variáveis, a partir de um número reduzido de ensaios experimentais, quando comparados aos processos univariados (PERALTA-ZAMORA et.al., 2005).

Para melhor entendimento dos fundamentos do planejamento fatorial é necessário ter um bom domínio de alguns conhecimentos básicos (CUNICO e colaboradores, 2008) descritos a seguir, fator: (cada variável do sistema em estudo); nível (condições de operação dos fatores de controle investigadas nos experimentos). Geralmente são identificados por nível baixo (-) e nível alto (+); Efeito: mudança ocorrida na resposta quando se muda do nível baixo (-) para o nível alto (+).

O planejamento experimental estatístico pode ser realizado pelo software *Statistica* e, dentre as várias análises feitas por este programa computacional, os resultados podem ser fornecidos em forma de gráficos (SILVA, 2011).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Obtenção, extração e tratamento da matéria-prima

A matéria-prima foi extraída de frangos, logo após o abate, em uma fazenda da região de Itumbiara, GO. O tratamento da matéria-prima consistiu em fundir 1 kg de gordura de frango, pois seu estado natural se encontra em estado sólido, em um béquer na manta aquecedora. Depois que a gordura se transformou em óleo, foi feita uma filtração para a retirada de partículas sólidas existentes. Segundo a Embrapa, o resíduo de óleo de aves deve passar por um pré-tratamento, como filtração ou decantação, para remoção de material sólido.

3.2 Caracterização físico-química da matéria-prima

A matéria-prima passou por duas análises físico-químicas, o índice de acidez e densidade, para a comprovação da sua qualidade e eficiência nas reações de transesterificação.

3.2.1 Índice de acidez

O índice de acidez (IA) foi determinado com base no método ASTM D- 664. Em um erlenmeyer de 125 mL, dissolveu-se 2g de amostra com 25 mL de solução neutra de éter etílico-álcool etílico (2:1) em volume. Após adição de 2 gotas de fenolftaleína, titulou-se a amostra com solução padrão de hidróxido de potássio 0,1 N até a coloração rósea persistente. Anotou-se o volume necessário para titular a solução. O cálculo foi feito em função do volume de solução básica gasta na titulação. Os resultados numéricos obtidos foram determinados utilizando-se a fórmula descrita na equação abaixo:

Equação 1: Índice de acidez

$$IA = \frac{N \times V \times E \times f}{m}$$

Onde:

IA: índice de acidez em mg KOH/g

N: normalidade da solução

V: volume gasto da solução

E: equivalente-grama

m: massa da amostra em gramas

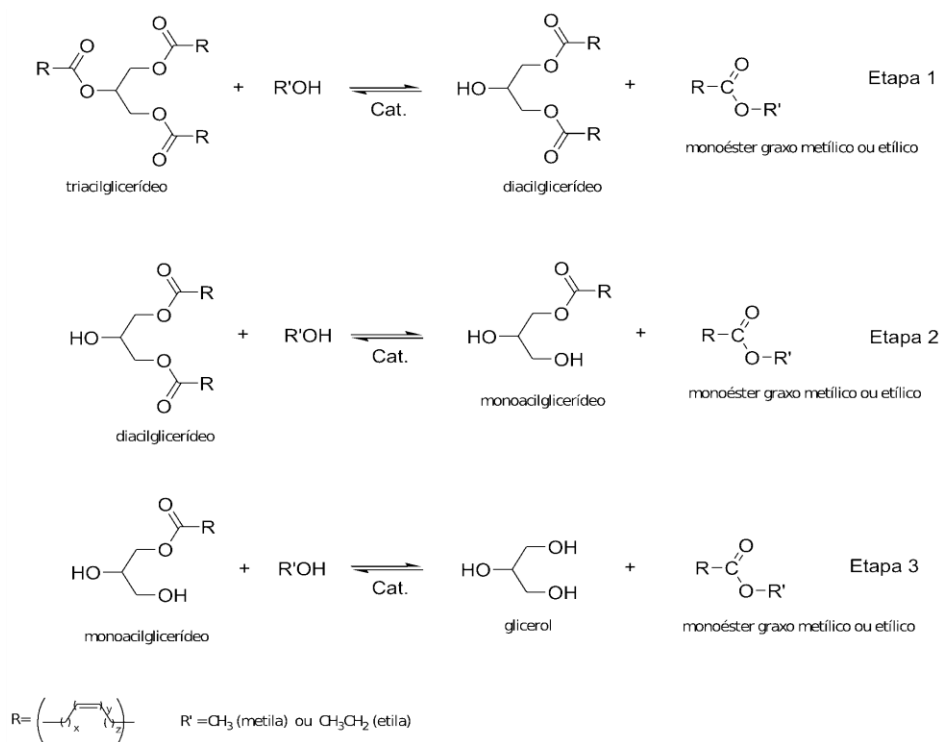
f: fator de correção

3.2.2 Densidade

A densidade foi determinada com base no método ASTM D- 4052. Inicialmente, pesou-se o picnômetro, previamente calibrado, seco e sem amostra, em uma balança analítica, para obter o peso do mesmo. Após colocar a amostra da gordura, pesou-se o conjunto picnômetro com amostra. Anotou-se a diferença entre as duas massas.

3.3 Produção do Biodiesel

O Biodiesel foi produzido por meio da reação de transesterificação metílica, utilizando um catalisador básico. As quantidades de cada fator foram alternadas baseando-se na acidez encontrada na caracterização da matéria-prima, ou seja, de acordo com o Índice de acidez encontrado. A reação de transesterificação ocorre com estequiometria de um mol de triglicerídeo para três de álcool, com mecanismo de três etapas (figura 6). Além da fração molar, fatores como temperatura, tempo de reação, também afetam o desempenho da reação (MOREIRA, 2009).

Figura 6: Esquema das Etapas da Reação de Transesterificação por Catálise Básica

Fonte: http://qnint.sbq.org.br/qni/popup_visualizarConceito.php?idConceito=66&semFrame=1

A catálise utilizada foi a homogênea, que pode ocorrer por catalisador ácido, que pode ser o sulfúrico, ou básica, por Hidróxido de Sódio ou de Potássio como exemplo (GOMES, 2010). As vantagens da catálise básica são o baixo custo do catalisador, alta atividade catalítica e facilidade de operação (CARVALHO, 2001). Utilizou-se em nossos estudos como catalisador básico o Hidróxido de Potássio (KOH).

Em um recipiente, o catalisador KOH foi misturado com Metanol. Após um período de tempo, ocorreu a formação de um alcóoxido, o qual foi transferido para um segundo recipiente mantido a uma determinada temperatura contendo a gordura, em uma quantidade padrão de 50g, onde a mistura reacional sofreu agitação mecânica, durante um determinado intervalo de tempo. Após o término da reação, o glicerol, o excesso de catalisador e o metanol, foram separados do biodiesel, através do processo de decantação natural. A mistura reacional foi decantada sendo a fase superior lavada com água quente a 80 °C, a fim de realizar a extração de partículas solúveis. Ao término da decantação, o Biodiesel foi transferido para outro recipiente, onde passou 30 minutos dentro da estufa à 50 °C para a retirada de qualquer partícula de água ainda existente.

O procedimento de produção do biodiesel aconteceu 8 vezes, onde cada variável foi alternada de acordo com a tabela 1, seguindo a matriz obtida no software *Statistica 7.0*.

Tabela 1: Valores usados em cada nível das variáveis na reação de transesterificação no planejamento experimental

Experimento	Razão Molar	Catalisador	Temperatura	Tempo
1	1	1	-1	-1
2	-1	1	1	-1
3	-1	-1	1	1
4	1	1	1	1
5	1	-1	1	-1
6	-1	1	-1	1
7	1	-1	-1	1
8	-1	-1	-1	-1

Fonte: autoria própria. Dados: software Statistica 7.0.

Tabela 2: Níveis das variáveis estudadas

Referência de níveis	-1	+1
Porcentagem do catalisador (m/m)	1,0	2,0
Razão Molar (álcool:óleo)	6:1	9:1
Temperatura (°C)	25	60
Tempo de reação (minutos)	20	40

Fonte: autoria própria

3.4 Caracterização físico-química do Biodiesel.

Segundo Lôbo, Ferreira e Cruz (2009), para garantir a qualidade do biodiesel é necessário estabelecer padrões de qualidade, objetivando fixar teores limites dos contaminantes que não venham prejudicar a qualidade das emissões da queima, bem como o desempenho, a integridade do motor e a segurança no transporte e manuseio. Devem ser monitoradas também possíveis degradações do produto durante o processo de estocagem.

A caracterização físico-química de índice de acidez foi realizada nas amostras dos biodieseis produzidos. Já a análise de densidade, foi realizada na amostra de biodiesel que mais se encaixa nos parâmetros analisados, ou seja, aquele que apresentou um maior rendimento na produção, e o que apresentou um melhor índice de acidez.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Relatos da extração, tratamento e caracterização físico-química da matéria-prima

A figura 7 mostra a gordura de frango logo após a obtenção. A matéria prima foi aquecida (figura 8) em seu estado sólido em uma manta aquecedora com temperatura controlada. Após o aquecimento, como mostra a figura 9, obteve-se a gordura líquida.

Figura 7: Matéria-prima in-natura



Fonte: autoria própria

Figura 8: Matéria-prima em aquecimento



Fonte: autoria própria

Figura 9: Matéria-prima depois de aquecida



Fonte: autoria própria

Após a obtenção da matéria-prima, a gordura passou por um processo de secagem na estufa, a uma temperatura de 100°C à 30 minutos, para a garantia de que toda a água fosse eliminada. Após esse aquecimento, a matéria-prima foi colocada em um funil de separação, pois notou a presença de um líquido imiscível a gordura. Com o processo de decantação, obteve-se apenas a gordura de frango, sem impurezas. A fase superior (figura 10) é líquida à temperatura ambiente e pode ser chamada de oleína, devido à elevada concentração de ácidos graxos insaturados, como oléico e linolêico. A fase inferior pode ser chamada de estearina. Ela se cristaliza à temperatura ambiente devido a maior concentração de ácidos graxos saturados, como esteárico e palmítico (CHIU; GRIMALDI e GIOIELLI, 2007).

Figura 10: Matéria-prima em decantação

Fonte: autoria própria

Caracterizou-se a matéria-prima em índice de acidez e densidade à 20°C, tal como descrito em 3.3. O valor desta propriedade encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3: Caracterização físico-química da gordura de frango

Tipo de caracterização	Parâmetro	Resultado obtido
Índice de acidez	1 mg KOH/g	1,11 mg KOH/g
Densidade à 20°C	-	938 kg/m ³

Fonte: autoria própria

De acordo com Gonçalves et.al. (2009), resíduos gordurosos devem conter no máximo a acidez de 1 mg KOH/g para que atenda a acidez normalizada pela ANP de a 0,5 mg KOH/g para o biodiesel. O resultado obtido foi acima da acidez indicada. Isso pode ser explicado pelo fato de que na titulação, a cor característica da gordura de frango (amarela) disfarçou o ponto de viragem, e por isso, a quantidade real gasta foi menor do que a anotada. O índice de acidez indica o teor de ácidos graxos livres na gordura de frango, sendo uma importante característica da gordura a ser avaliada, pois os ácidos graxos formam, em meio básico, os sais de ácidos graxos (sabão), os quais são responsáveis pela formação de emulsão durante a etapa de purificação do biodiesel e, conseqüentemente, uma redução do rendimento da reação (ZANETTI, 2012).

A gordura de frango não possui valores de densidade específicos dentro de parâmetros oficiais. O valor encontrado para densidade, que foi de 938 kg/m^3 , resultado bem próximo aos encontrados por Zanetti (2012), que foi de $915,7 \text{ kg/m}^3$, e um pouco mais distante dos resultados encontrados por Tomiello (2011), que foi de 880 kg/m^3 .

4.2 Rendimento da transformação da matéria-prima em biodiesel

A reação de transesterificação ocorreu utilizando-se as variáveis descritas no planejamento experimental, conforme comprova as imagens abaixo, que descrevem as etapas:

Figura 11: Etapa 1 - Gordura de frango



Fonte: autoria própria

A gordura para ser submetida a um processo reacional, precisa passar por tratamentos específicos, conforme descritos no item 3.2. A gordura de frango depois de pesada, ficou acondicionada em estufa a 50°C para a retirada de toda umidade existente.

Figura 12: Reação de transesterificação



Fonte: autoria própria

O processo reacional aconteceu sobre agitação mecânica em um agitador magnético, com rotação controlada, estabelecida em 20% de velocidade, de acordo com o equipamento utilizado. Essa velocidade de rotação foi mantida padrão, para todos os experimentos realizados.

Figura 13: Separação biodiesel e glicerol



Fonte: autoria própria

Durante o processo de separação do biodiesel obtido, gera-se um resíduo, o glicerol. Ele foi armazenado em um recipiente plástico para o devido descarte posterior. Na produção do biodiesel são gerados resíduos e co-produtos que devem ser aproveitados, de forma que toda a cadeia de produção do biodiesel seja sustentável e economicamente viável (MOTA; PESTANA, 2011).

Ainda de acordo com Mota e Pestana (2011), a glicerina é uma matéria-prima que pode ser empregada em diversos setores das indústrias de cosméticos, saboaria, farmacêutico, alimentício, entre outros. É chamado de glicerina os produtos comerciais com aproximadamente 95% de glicerol, o 1,2,3-propanotriol, mas atualmente, com o aumento da produção de biodiesel em todo o mundo, uma fração com cerca de 80% de glicerol é normalmente denominada de glicerina loira ou bruta.

Figura 14: Lavagem do biodiesel



Fonte: autoria própria

Todos os biodieseis produzidos, passaram pelo processo de lavagem, conforme descrito no item 3.4. A lavagem do biodiesel é de suma importância pois as partículas solúveis existentes são retiradas.

Figura 15: Biodiesel final



Fonte: autoria própria

De acordo com a ANP 07/2008 (Figura 1), o biodiesel deve estar com o aspecto límpido e livre de impurezas. Isso por ser confirmado observando a imagem acima (figura 15).

Conforme descrito na no item 3.4, o Biodiesel foi produzido através da reação de transesterificação, seguindo todas as condições reacionais descritas no planejamento fatorial

fracionário 2^{k-1} , onde os valores de rendimento em porcentagem, estão dispostos na tabela 4. O cálculo de rendimento da produção foi baseado na massa obtida de biodiesel em relação a massa total da gordura de frango utilizada.

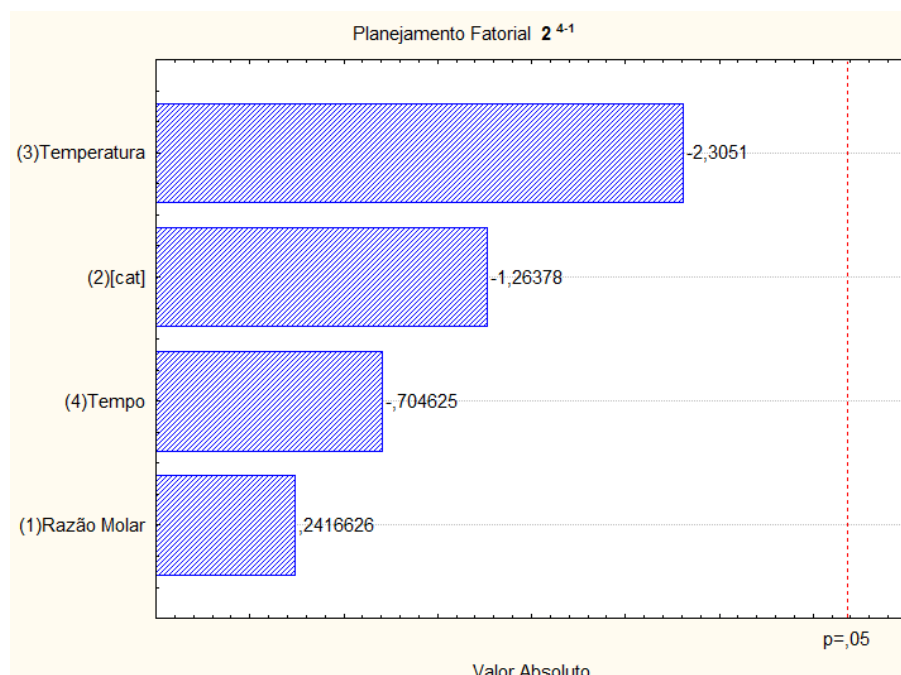
Tabela 4: Rendimento da produção de acordo com a matriz do planejamento fatorial

Exp.	Razão Molar (g)	Concentração Catalizador (g)	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Rendimento Biodiesel %
1	16,8	1,0	25	20	98,44
2	11,2	1,0	60	20	30,48
3	11,2	0,5	60	40	55,98
4	16,8	1,0	60	40	00,00
5	16,8	0,5	60	20	92,50
6	11,2	1,0	25	40	94,53
7	16,8	0,5	25	40	96,83
8	11,2	0,5	25	20	86,13

Fonte: autoria própria

Os rendimentos obtidos nas reações de transesterificação se mostraram satisfatórios nos experimentos 1, 3, 5, 6, 7 e 8, comparados com os estudos de Tomiello (2011) onde se obteve rendimentos de aproximadamente 91,94% e aos estudos de Souza e colaboradores, onde se encontrou um rendimento de 95%, ambos, utilizando a mesma rota na reação de transesterificação.

As variáveis foram analisadas no software Statistica 7.0, onde se gerou um gráfico de pareto, que mostra a influência das variáveis no rendimento das reações de transesterificação.

Figura 16: Gráfico de Pareto: influência das variáveis

Fonte: software Statistica 7.0

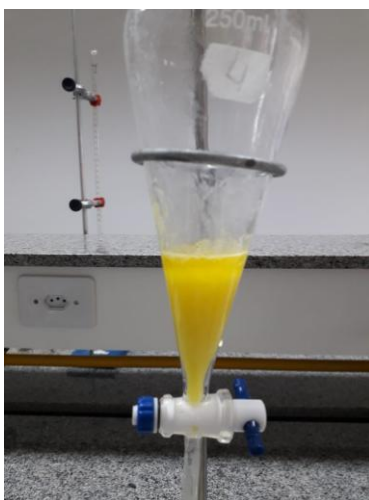
O gráfico acima foi gerado demonstrando a influência das variáveis nas reações de produção do biodiesel. Como é possível perceber, as variáveis não influenciaram dentro do valor significativo de 95%. Alguns fatores podem ser justificados por conta desses efeitos. A gordura utilizada é semi-sólida, ou seja, nas reações ocorridas em temperatura ambiente ela pode não ter sido convertida totalmente por conta do seu estado físico.

A temperatura também é um fator importante no processo, pois também está ligada diretamente na característica física da matéria prima. Como as reações foram realizadas em uma manta aquecedora sob agitação magnética, a temperatura pode ter sofrido variações durante o processo reacional. A temperatura é uma variável crucialmente importante, como mostrada no gráfico acima.

Através da análise estatística, verificou-se que a variável que mais influenciou positivamente no processo foi a variável 1 (Razão Molar), seguidos das variáveis 2 (Catalisador), 3 (Temperatura) e 4 (Tempo). Isso significa que os níveis de Razão molar apresentam efeitos positivos, por isso devem ser mantidos em nível alto (+1), já os níveis de Catalisador, Temperatura e Tempo, apresentaram efeitos negativos, e por isso devem ser mantidos em nível baixo (-1).

O experimento 4, conforme descrito na tabela 4, não apresentou rendimento, pois a reação de transesterificação não ocorreu. O experimento foi repetido em triplicata para a verificação e em nenhum deles ocorreu a formação do biodiesel conforme visto na imagem abaixo:

Figura 17: Experimento 4



Fonte: autoria própria

4.3 Caracterização físico-química do Biodiesel

A qualidade do biodiesel pode sofrer variações conforme as estruturas moleculares dos seus ésteres constituintes ou devido à presença de contaminantes oriundos da matéria prima, do processo de produção ou formados durante a estocagem do biodiesel (LÔBO; FERREIRA, 2009).

Ainda de acordo com Lôbo e Ferreira (2009), o monitoramento da acidez no biodiesel é de grande importância durante a estocagem, na qual a alteração dos valores neste período pode significar a presença de água.

Segundo Cunha (2008), o índice de acidez é uma das análises mais importantes e deve ser realizada para orientar se a matéria-prima escolhida para a produção do biodiesel pode ser utilizada. O índice de acidez fornece informações sobre as características do produto da reação de transesterificação. Esta análise informa o quanto há de ácidos graxos livres e, se a presença for

acentuada, tal matéria-prima não pode ser utilizada em uma transesterificação básica, pois esta característica favorece a formação de sabões na reação (ZANETTI, 2012).

Assim como a umidade, a acidez de um combustível é um fator imprescindível de controle uma vez que a presença de ácidos graxo livres podem desencadear todo um processo oxidativo do combustível, assim também como é responsável pela oxidação da parte interna dos motores, causando corrosão (SILVA, 2011)

Os resultados obtidos de Índice de Acidez estão descritos na tabela abaixo de acordo com cada experimento:

Tabela 5: Índice de acidez dos biodieseis produzidos

Índice de acidez	Resultado obtido
Experimento 1	0,5562 mg KOH/g
Experimento 2	0,5581 mg KOH/g
Experimento 3	0,2789 mg KOH/g
Experimento 4	-
Experimento 5	0,2751 mg KOH/g
Experimento 6	0,2791 mg KOH/g
Experimento 7	0,5573 mg KOH/g
Experimento 8	0,5579 mg KOH/g

Fonte: autoria própria

A ANP estabelece o padrão para índice de acidez de até no máximo 0,50 mg KOH/g. Com os resultados expostos na tabela acima, é possível perceber que 3 amostras, sendo elas dos experimentos 3, 5 e 6, se encaixam no padrão de acidez estabelecidos pela norma regulamentadora.

O índice de acidez é uma análise simples empregada no monitoramento da qualidade dos combustíveis, sendo orientada a ser a primeira análise realizada a fim de informar sobre a característica do produto formado após a reação de transesterificação (CUNHA, 2008).

Quando comparado a outras fontes de origem animal, o óleo do frango apresenta uma baixa concentração de ácido graxos saturados, podendo ser considerado como um semilíquido à temperatura ambiente e ser chamado de “óleo” ou “gordura” (CENTENARO et.al., 2008).

Após a análise relativa de qual combinação de variáveis se encaixa melhor para a produção de Biodiesel, realizou o teste de densidade no Biodiesel no experimento 6, pois foi o experimento que obteve um melhor rendimento de produção concomitante com os parâmetros de índice de acidez estabelecidos pela ANP, e obteve-se o resultado conforme descrito na tabela abaixo:

Tabela 6: Densidade do Biodiesel do experimento 6

Tipo de caracterização	Parâmetro	Resultado obtido
Densidade à 20°C	850-900 kg/m ³	906 kg/m ³

Fonte: autoria própria

A densidade do biodiesel está diretamente ligada com a estrutura molecular das suas moléculas. Quanto maior o comprimento da cadeia carbônica do alquiléster, maior será a densidade, no entanto, este valor decrescerá quanto maior for o número de insaturações presentes na molécula. A presença de impurezas também poderá influenciar na densidade do biodiesel como, por exemplo, o álcool ou substâncias adulterantes (LOBÔ; FERREIRA, 2009).

Os motores são projetados para operar com combustíveis em determinada faixa de densidade, tendo em vista que a bomba injetora dosa o volume injetado. Quando a densidade varia, o conteúdo energético da porção injetada e a relação ar-combustível, na câmara de combustão, ficam alteradas (BORSATO; GALÃO; MOREIRA, 2005).

A ANP estabelece o padrão para densidade do biodiesel na faixa de 850-900 kg/m³. Como mostrado na tabela 6, o resultado obtido encontra-se um pouco acima do permitido pela ANP. Em comparação ao valor obtido para a gordura, que foi de 938 kg/m³ teve-se uma redução do valor, o que indica que a densidade do éster é inferior à do óleo. A explicação para esse resultado pode ser atribuída a reação incompleta de transesterificação, deixando alguns vestígios de gordura de frango na mistura, fazendo assim, o valor da densidade maior do que o desejado. Vale ressaltar que a separação feita na produção de biodiesel é apenas por via decantação, ou seja, uma produção operacional, e não foi realizado análises cromatográficas ou espectroscópicas para verificar a composição dos biodieseis obtidos.

5 CONCLUSÃO

É de suma importância a preocupação com a sustentabilidade, com o meio ambiente e com o consumo de combustíveis fósseis. O desenvolvimento de Biodiesel se torna necessário diante desses fatores.

A utilização de gordura animal é uma saída sustentável para a destinação de resíduos provenientes de frigoríficos, que muitas vezes, são descartados no meio ambiente sem qualquer tipo de tratamento. A escolha pela gordura de frango foi atribuída em função da crescente consumo de carne de frango na região de Goiás e em todo o Brasil, além do grande potencial que ela apresenta nas reações de transesterificação.

A caracterização da matéria-prima foi realizada para a comprovação da eficiência no processo de produção. A matéria-prima deve ser tratada para que não exista qualquer contaminante e que ela esteja em condições perfeitas para ser submetida aos processos reacionais. Não existe nenhuma legislação que limite teor de acidez em gorduras de frango, mas os testes realizados foram comparados a literaturas existentes no ramo dos biocombustíveis.

A caracterização físico-química do Biodiesel produzido, deve ser seguida como um padrão essencial para que o biocombustível produzido possa ser. A ANP dispõe de inúmeras normativas e parâmetros para que os produtores possam consultar e seguir à risca os níveis permitidos. Índice de Acidez e Densidade foram consideradas variáveis para o controle e o mais importante no controle da qualidade, por isso elas foram escolhidas como as caracterizações dessa pesquisa. Os biodieseis produzidos no estudo apresentaram excelentes índices de acidez em cerca de 30% da produção.

Com a utilização do planejamento fatorial, alternando as condições reacionais, concomitantes com o parâmetro de Índice de Acidez foi possível perceber que o experimento que mais demonstrou resultados favoráveis foi o experimento 6, porque apresentou um rendimento satisfatório e um Índice de Acidez dentro das normas da ANP. Com isso, é possível perceber que as condições estabelecidas neste experimento são as mais recomendadas para uma produção de Biodiesel, que se preza a qualidade e uma produção desejável. A densidade desse biodiesel produzido também foi calculada, gerando um resultado acima do permitido pelo parâmetro nacional.

Independentemente de os resultados estarem dentro dos parâmetros ou não, é de suma importância as pesquisas realizadas na área de biocombustíveis, pois mostra a preocupação dos pesquisadores em encontrar saídas sustentáveis e eficientes para a problemática do aquecimento global, escassez de combustíveis e descarte incorreto de resíduos de frigoríficos.

REFERÊNCIAS

ABDOLI, M. A.; F. MOHAMADI; B. GHOBADIAN; E. FAYYAZI. Effective parameters on biodiesel production from feather fat oil as a cost-effective feedstock, **International Journal of Environmental Research**, v. 8, n. 1, p. 139-148, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). **Relatórios anuais**. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/publicacoes/relatorios-anuais>. Acesso em: 13 de novembro de 2019.

_____. Relatório anual 2018. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/storage/files/relatorio-anual-2018.pdf>. Acesso em 21 de novembro de 2019.

ALVES, C.T. **Transesterificação de Óleos e Gorduras Residuais via rotas metílica e etílica utilizando o catalisador Aluminato de Zinco, em presença ou não de CO2 supercrítico**. Tese (Doutorado), Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2012.

AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA (AGEITEC). **Gordura Animal**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fj1om7kf02wyiv802hvm3jholyyoom.html>. Acesso em 02 de setembro de 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Biodiesel**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biodiesel>. Acesso em: 08 de agosto de 2019

_____. **Óleo diesel passa a conter no mínimo de 11% de biodiesel a partir de 1º de setembro**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/noticias/5298-oleo-diesel-passa-a-conter-minimo-de-11-de-biodiesel-a-partir-de-1-de-setembro>. Acesso em: 02 de setembro de 2019

_____. **Resolução ANP nº 7, de 19.3.2008 - dou 20.3.2008 s.d**. Disponível em: www.anp.gov.br. Acesso em: 16 de outubro de 2019.

_____. **Anuário Estatístico 2018**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-2018>. Acesso em: 12 de novembro de 2019.

_____. **Ramp 45 – 2014**. Disponível em: <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2014/agosto&item=ranp-45-2014>. Acesso em: 12 de novembro de 2019.

BORGES, M.E.; DÍAZ, L. “Recent developments on heterogeneous catalysts for biodiesel production by oil esterification and transesterification reactions: A review,” **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p. 2839-2849, 2012.

BORSATO, D.; GALÃO, F. O.; MOREIRA, I. **Combustíveis fósseis**. Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da Universidade Estadual de Londrina, 2005.

BIODIESEL BRASIL. **Processo de produção do Biodiesel**. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/biodiesel/processo-producao/biodiesel-processo-producao>. Acesso em: 13 mar. 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Instrução Normativa nº 8 de 25 de mar. de 2004. **Programa nacional de controle de encefalopatias espongiformes transmissíveis**. Diário Oficial da União, n. 59, 26 de março de 2004.

CAMARÃ, G.M.S; HEIFFIG, L.S. **Agronegócio de plantas oleaginosas: matérias primas para biodiesel**. Piracicaba, SP, 2006.

CARVALHO, A. K.F. **Síntese de biodiesel por transesterificação pela rota etílica: comparação de desempenho de catalisadores heterogêneos**. Dissertação de Mestrado em Processos Catalíticos e Biocatalíticos- Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2001.

CASAGRANDE, C.G.; MENEZES, E.L.; PINTO, D.P.; OLIVEIRA, L.W. **Aplicação do Biodiesel na Geração de Energia Elétrica**. XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica. Olinda, PE, 2008.

CASTRO, W.B. Uso de planejamento fatorial para avaliar a influência das variáveis da técnica de fluxo no nível de super-resfriamento da liga eutética Sn-57%Bi. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.8.2, p.74 –79, 2013.

CENTENARO, G. S.; FURLAN, V. J. M.; SOUZA-SOARES, L. A. de. Gordura de frango: alternativas tecnológicas e nutricionais. **Semana: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n.3, p. 619-630, jul./set. 2008. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/download/2799/2383>. Acesso em: 13 de agosto 2019.

CHIU, C M.; GRIMALDI, R.; GIOIELLI, L. A.; Fracionamento a seco da gordura de frango em escala piloto. **Revista Brasileira Ciências Farmacêuticas**, São Paulo, v. 43, n. 3, p. 421-434, Set, 2007.

CUNHA, M. E. **Caracterização de biodiesel produzido com gorduras binárias de sebo bovino, gordura de frango e óleo de soja**. 2008. Dissertação (Mestrado) . Programa de Pós Graduação em Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

CUNICO, M. W. M., CUNICO, M. M. MIGUEL, O. G., ZAWADZKI, S. F., PERALTA-ZAMORA, P., VOLPATO, N. Planejamento fatorial: uma ferramenta estatística valiosa para a definição de parâmetros experimentais empregados na pesquisa científica. **Visão Acadêmica**, Curitiba, v.9, n.1, Jan. – Jun 2008

DELGADO, M.M; CESTARI, I. **Uso de gordura de frango para a obtenção de biodiesel**. Jabuticabal, SP ,v.1, 2010.

EMBRAPA, **Cartilha de biodiesel. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – Sebrae**. Brasília, DF, 2007.

EMBRAPA, AGEITEC. **Transesterificação , matérias primas e produtos**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>Acesso em: 24 jan. 2019.

ENCARNAÇÃO, A.P.G. **Geração de biodiesel pelos processos de transesterificação e hidroesterificação, uma avaliação econômica**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

GOMES, L.; SOUZA, S.; BARICCATTI, R.; SOUZA, J. **Potencial de produção de biodiesel a partir do óleo de frango nas cooperativas do oeste do Paraná**. Varia Scientia (4), 133-146. 2004.

GOMES, Mateus Afonso. **Obtenção de biodiesel a partir de resíduos gordurosos obtidos de gordura animal - vísceras de frango**. Dissertação de Mestrado em Conversão de Biomassa- Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2010.

GONÇALVES, A.; SOARES, J.;BRASIL, A. N.; NUNES, D. L. **Determinação do índice de acidez de óleos e gorduras residuais para produção de biodiesel**. III Congresso da rede brasileira de tecnologia de biodiesel, 2009.

KNOTHE, G. **Manual de biodiesel**. Curitiba, PR, editora: Edgard Blucher, 2006 p.1.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. **Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos**. Química Nova, vol. 32, n. 6, 2009.

MENEGHETTI, S.P. MENEGHETTI, M. R. BRITO, Y. C. **A Reação de Transesterificação, Algumas Aplicações e Obtenção de Biodiesel**. Disponível em: http://qnint.s bq.org.br/qni/popup_visualizarConceito.php?idConceito=66&semFrame=1. Acesso em: 12 de novembro de 2019.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Biodiesel**. Brasília, DF. Novembro, 2006.

MOREIRA, A.L.V. **Produção de biodiesel a partir de gordura de frango**. Dissertação de Mestrado - Universidade do Porto, Cidade do Porto, 2009.

MOTA, C.J.A.; PESTANA, C.F.M. Co-produtos da produção de biodiesel. **Revista Virtual de Química**. v. 3, n. 5, 2011.

NASCIMENTO, A.F. **O mercado do biodiesel e desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <https://portal.fslf.edu.br/wp-content/uploads/2016/12/O-MERCADO-DO-BIODIESEL-E-DESENVOLVIMENTO-SUSTENT-VEL.pdf>. Acesso em 02 de setembro de 2019.

PERALTA-ZAMORA, P.; MORAIS, J. L.; NAGATA, N. **Por que otimização multivariada?** Engenharia Sanitária e Ambiental. v.10, n.2, p.106-110, 2005.

PEREIRA-FILHO, E. R., POPPI, R. J.; ARRUDA, M. A. Z. **Employment of factorial design for optimization of pirolisys and atomization temperatures for Al, Cd, Mo and Pb determination by ETAAS.** Química Nova. v. 25, n. 2, p.246-253, 2002.

PLANO NACIONAL DE AGROENERGIA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de produção e Agroenergia.** 2. ed.rev. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

RODRIGUES, K. F.; FRAGA, A. C.; CASTRO NETO, P.; MACIEL, A. J. S.; LOPES, O. C. **Potencialidade da gordura de frango como matéria.** In: II Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, Varginha, MG. Anais do II Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, 2005. v. I. p. 847-851, 2005.

SILVA, T.A.R. **Biodiesel de óleo residual: produção através da transesterificação por metanólise e etanólise básica, caracterização físico-química e otimização das condições reacionais.** Tese (Doutorado), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2011.

SOUZA, S.M.N.; NEITZKE, G.; GOMES, L.F.S.; BARICCATTI, R.A. **Potencial de produção de biodiesel a partir do óleo de frango nas cooperativas do oeste do Paraná.** Cascavel e Toledo, PR.

TOMIELLO, C.R. **potencial do óleo de frango como matriz lipídica para a produção de biodiesel.** Monografia de trabalho de conclusão de curso, Universidade de São Paulo, Lorena, SP, 2011.

ZANETTI, M. **Produção de biodiesel a partir de gordura abdominal de frangos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.