

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

ÉERICA ROST

**PRODUÇÃO DE BIODIESEL DE SEBO BOVINO ASSISTIDA POR
BANHO DE ULTRASSOM UTILIZANDO O PLANEJAMENTO
EXPERIMENTAL**

**ITUMBIARA-GO
2022**

**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: Érica Rost

Matrícula: 20181040030060

Título do Trabalho: Produção de biodiesel de sebo bovino assistida por banho de ultrassom utilizando o planejamento experimental.

Autorização - Marque uma das opções

1. (X) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () 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:

- i. 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;
- ii. 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;
- iii. 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-GO, 27/01/2022.



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

ÉRICA ROST

**PRODUÇÃO DE BIODIESEL DE SEBO BOVINO ASSISTIDA POR
BANHO DE ULTRASSOM UTILIZANDO O PLANEJAMENTO
EXPERIMENTAL**

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 Licenciado em Química.

Área de concentração: Química Orgânica, Síntese orgânica.

Orientador(a): Dr.^a Tatiana Aparecida Rosa da Silva

ITUMBIARA-GO

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

R839p

Rost, Érica

Produção de biodiesel de sebo bovino assistida por banho de ultrassom utilizando o planejamento experimental. Érica Rost. -- Itumbiara, 2022.

54 p. : il. color.

Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Química) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Itumbiara, 2022.

Orientadora: Profa. Dra. Tatiana Aparecida Rosa da Silva

1. Biodiesel. 2. Bovinos. 3. Ultrassom.

I. Título. II. Silva, Tatiana Aparecida Rosa da. III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

CDD 547



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS ITUMBIARA

ÉRICA ROST

PRODUÇÃO DE BIODIESEL DE SEBO BOVINO ASSISTIDA POR BANHO DE ULTRASSOM UTILIZANDO O PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca examinadora 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 licenciado em Química.

Área de concentração: Química Orgânica.

Aprovado em 17 de janeiro de 2022.

(Assinado eletronicamente)

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

(Assinado eletronicamente)

Profa. Ma. Bárbara Nascimento Aud
IFG – Câmpus Itumbiara

(Assinado eletronicamente)

Profa. Dra. Blyeny Hatalita Pereira Alves
IFG - Câmpus Itumbiara

ITUMBIARA - GO
2022

Documento assinado eletronicamente por:

- Barbara Nascimento Aud, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 27/01/2022 11:05:22.
- Blyeny Hatalita Pereira Alves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 27/01/2022 09:58:32.
- Tatiana Aparecida Rosa da Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 27/01/2022 09:41:31.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 27/01/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 239968

Código de Autenticação: 7a6d78e2a7



Dedico este trabalho a Deus, a meus pais e aos meus professores, que são os meus maiores orientadores sobre as virtudes da prática da paciência, resiliência, autoconfiança, coragem, persistência, responsabilidade, empatia, altruísmo e sabedoria.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação para não desanimar durante a realização deste trabalho e fazer com que meus objetivos fossem alcançados. A minha irmã, Laura Hellen Rost, aos meus pais Silvana Maria Furlan Rost e Elton Rost, assim como, o meu namorado Henrique Borges Fernandes, por todo o apoio e pela ajuda, que muito contribuíram para a realização deste trabalho. A professora Dra. Tatiana Aparecida Rosa da Silva, por ter sido minha orientadora e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade. Ao técnico de laboratório Me. Adilson Correia Goulart pela disponibilidade em ajudar com a construção do Diagrama de Pareto. Aos meus colegas de turma, por compartilharem comigo tantos momentos de descobertas e aprendizado e por todo o companheirismo ao longo deste percurso. Ao Instituto Federal de Goiás, que me acolheu e foi essencial no meu processo de formação pessoal e profissional, pela dedicação, e por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso.

*“Um pouco de ciência nos afasta de Deus. Muito,
nos aproxima”. (Louis Pasteur)*

RESUMO

Uma das áreas mais pesquisadas no estudo da química se relaciona com a produção de combustíveis ambientalmente corretos e que possuem maior viabilidade econômica. Nesse contexto, a produção de biodiesel vem ganhando destaque e o sebo bovino se configura como uma matéria-prima promissora devido a sua grande disponibilidade em abatedouros e possuir baixo custo de produção. Em larga escala, o biodiesel obtido a partir da reação de transesterificação dos óleos vegetais emprega catalisadores químicos homogêneos, que embora sejam mais viáveis que outros métodos para diminuição da viscosidade dos óleos vegetais, ainda, implicam em um alto custo de energia e difícil retirada de subprodutos no processo. Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar a potencialidade do sebo bovino para a produção de biodiesel, através da transesterificação assistida por ultrassom, além de estudar a influência das variáveis pelo Planejamento Experimental. A síntese do biodiesel realizou-se através da transesterificação por catálise homogênea básica. A reação convencional aconteceu usando um álcool (metanol) na presença de um catalisador básico (KOH), na temperatura de 45°C, em agitação por 30 minutos. A reação utilizando o ultrassom ocorreu com similarmente ao método convencional, diferindo apenas na mudança da temperatura, de 65°C. Com uma técnica diferente, na qual se utilizou do banho de ultrassom para o aquecimento e agitação dos reagentes, obteve-se porcentagens próximas ao método convencional, de 87,00%. O ensaio de maior rendimento, 98,76%, foi desenvolvido com 0,8g de KOH, 13 mL de metanol e 40 min de aquecimento. O Diagrama de Pareto não apresentou fatores e interações de fatores significativos. A reciclagem do sebo bovino não somente retirou um composto indesejado do meio ambiente, mas também permitiu a geração de uma fonte de energia alternativa, renovável e menos poluente.

Palavras-chave: Biodiesel. Planejamento Experimental. Sebo Bovino. Ultrassom.

ABSTRACT

One of the most researched areas regarding the study of chemistry relates to the production of fuels that are environmental-friendly and have a larger economic feasibility. In this context, the biodiesel production has gained prominence and the bovine tallow is a promising raw material due to its great availability in slaughterhouses and because it presents a low production cost. On a large scale, the biodiesel uses the vegetable oil transesterification process to employ homogeneous chemical catalysts that although are more feasible than other vegetable oils viscosity reduction method, still imply a high energy cost and a hard byproduct extract on the process. Thus, the aim of this paper was to verify potentiality of the bovine tallow for the biodiesel production, through the transesterification assisted by ultrasound, and besides to study the influence of variables using the Experimental Design. The biodiesel synthesis was done through the transesterification by basic heterogeneous catalysis. The reaction occurred using an alcohol (methanol) in the presence of a basic catalyst (KOH), at 45°C (113° F) for 30 minutes. The reaction using ultrasound was similar to the conventional method, differing only in the temperature change of 65°C (149°F). Applying a different technique on which was used the ultrasound bath to heat the reagents, percentages close to the conventional method were obtained, of 87.00%. The experiment with the highest yield, 98.76%, was carried out with 0.8g of KOH, 13 mL of methanol and 40 min of heating. The Pareto Diagram did not present factors and interaction of significant factors. The bovine tallow recycling not only removed an unwanted compound from the environment, but also permits the generation of an alternative energy source which is renewable and less polluting.

Keywords: Biodiesel, Experimental Design, Bovine Tallow, Ultrasound.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Participação de matérias-primas para a produção de biodiesel em 2020.....	15
Figura 02 - Etapas reacionais envolvidas na transesterificação de triacilglicerídeos.....	16
Figura 03 - Estequiometria da reação de transesterificação de triglicerídeos com o metanol....	17
Figura 04 - Emissões de poluentes durante a combustão do biodiesel no motor a diesel.....	23
Figura 05 - Reação química com o catalisador básico que provoca a formação de sabões.....	25
Figura 06 - Fluxograma do processo de produção de biodiesel por transesterificação.....	30
Figura 07 - Diferenças entre as matérias-primas.....	35
Figura 08 - Análise visual dos sebos obtidos.....	35
Figura 09 - Comparação entre o rendimento (%) do processo de produção de biodiesel pelo processo convencional e por banho ultrassônico.....	39
Figura 10 - Comparação entre o rendimento do biodiesel bovino formado após 8 e 16 minutos de banho ultrassônico.....	40
Figura 11 - Estrutura sólida formada quando utilizado 0,75g de KOH como catalisador.....	41
Figura 12 - Rendimento em porcentagem das amostras.....	44
Figura 13 - Diagrama de Pareto do rendimento (g) das análises univariadas e multivariadas...	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Composição de ácidos graxos dos biocombustíveis de óleo de soja e sebo.....	20
Tabela 02 - Matriz do Planejamento Experimental para Transesterificação do Sebo Bovino.	33
Tabela 03 - Parâmetros de referência usados para caracterização físico-química do sebo.....	36
Tabela 04 - Caracterização físico-química das matérias-primas.....	37
Tabela 05 - Rendimento em massa das amostras.....	41
Tabela 06 - Análise da variação do fator catalisador.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS

ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária.
ASTM	American Society of Testing and Materials.
B2	Mistura de 2% de biodiesel ao diesel
B3	Mistura de 3% de biodiesel ao diesel
B5	Mistura de 5% de biodiesel ao diesel
B10	Mistura de 10% de biodiesel ao diesel
B20	Mistura de 20% de biodiesel ao diesel
DIN	Deutsches Institut für Normung
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
HPA	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
PPM	Pesquisa da Pecuária Municipal
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
SEAPA	Secretária de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento
SBRT	Shanrong Biotechnology Corp

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	16
1.1.1	Objetivo Geral	16
1.1.2	Objetivos Específicos	16
1.2	Justificativa.....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	Revisão do Biodiesel.....	18
2.2	Poluentes do Biodiesel	20
2.3	Catálise Alcalina Homogênea	22
2.4	Inconvenientes da Reação de Transesterificação.....	22
2.5	Fatores do Planejamento Experimental	23
3	METODOLOGIA	25
3.1	Produção de Biodiesel Bovino.....	25
3.1.1	Pré-Tratamento e Caracterização Físico-Química do Sebo Bovino (ASTM, 2010).....	25
3.1.2	Procedimento da Reação de Transesterificação com Aquecimento Convencional.....	27
3.1.3	Procedimento da Reação de Transesterificação com Radiação Mecânica do som por Ultrassom.....	28
3.1.4	Caracterização Físico-química do Biodiesel	29
3.1.5	O Planejamento Experimental das Variáveis: Tempo, Massa do Catalisador e Volume do Metanol (SILVA, 2013)	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1	Pré-Tratamento e Caracterização Físico-Química do Sebo Bovino	33
4.2	Comparações entre o Processo Convencional de Produção de Biodiesel com a Utilização do Banho de Ultrassom	36
4.3	Estudos da variável: Tempo da reação de Transesterificação Utilizando o Ultrassom.....	38
4.4	Estudos da variável: Massa do Catalisador na Produção de Biodiesel Utilizando o Ultrassom.....	39
4.5	Elaboração do Planejamento Experimental com as Variáveis: Tempo, Massa de Catalisador e Volume de Álcool	40
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
	REFERÊNCIAS	43

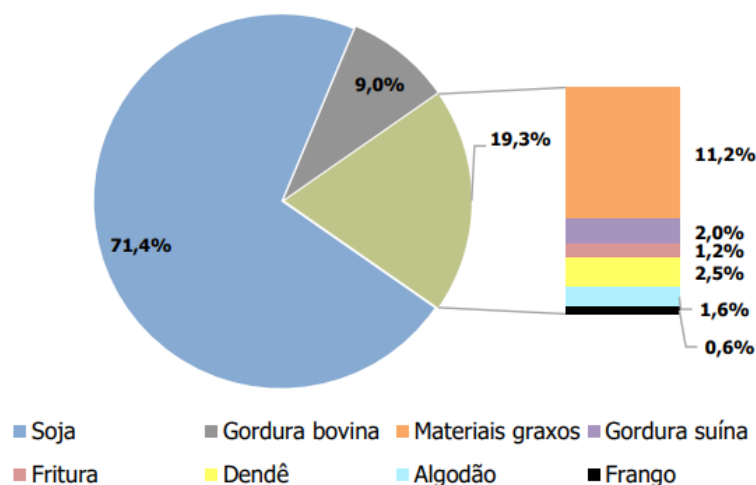
1 INTRODUÇÃO

No momento socioeconômico atual, várias são as discussões que norteiam o equilíbrio do meio ambiente e o desenvolvimento tecnológico mais crítico da sociedade, visando garantir o porvir das novas gerações. Uma dessas reflexões trata sobre a renovabilidade das matérias-primas usadas como matriz energética e a viabilização do custo da produção. Nesse sentido, a biomassa é um dos caminhos para alcançar a sustentabilidade e pode vir a se tornar, em um curto prazo, uma matéria-prima mais lucrativa do que os combustíveis não-renováveis (OLIVEIRA et al., 2017).

No Brasil, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) por meio do Regulamento Técnico nº 07/2008, define o biodiesel como sendo um “combustível composto de alquil ésteres, formado por ácidos graxos, oriundos de óleos vegetais ou gorduras animais e que é designado por B100 (biodiesel puro)” (ANP, 2012). O biodiesel insere-se na matriz energética brasileira a partir da criação de seu marco regulatório em 2004, através da Lei 11.097/2005 (BRASIL, 2005). Conforme definido nesse marco, autorizou-se a mistura de 2% em volume de biodiesel ao diesel (B2), desde janeiro de 2005, tornando-a obrigatória em 2008, quando foi autorizado o uso de 3% (B3) (RAMOS et al., 2003). Como a capacidade de produção era suficiente para atender um maior percentual e de acordo com os benefícios do biodiesel (menor quantidade de gases poluentes e outros), a quantidade de biodiesel adicionado ao diesel veio aumentando 1% a cada ano, desde 2008, chegando a 13% em 2021 (ANP, 2021). Entretanto, sofreu queda temporária para 10% ainda no ano de 2021 devido a influência do preço do biodiesel na inflação (BRASIL, 2021).

Em relação à escolha de uma biomassa com fonte animal, tem-se como matéria-prima o sebo, que pode ser aproveitado do abate bovino, suíno, de aves ou até mesmo de peixes. Essa que é uma das principais fontes de matéria-prima utilizada na produção de biodiesel no Brasil, conforme a Figura 01, que mostra a sua participação de 9,0%, no ano de 2020.

Figura 01: Participação de matérias-primas para a produção de biodiesel em 2020



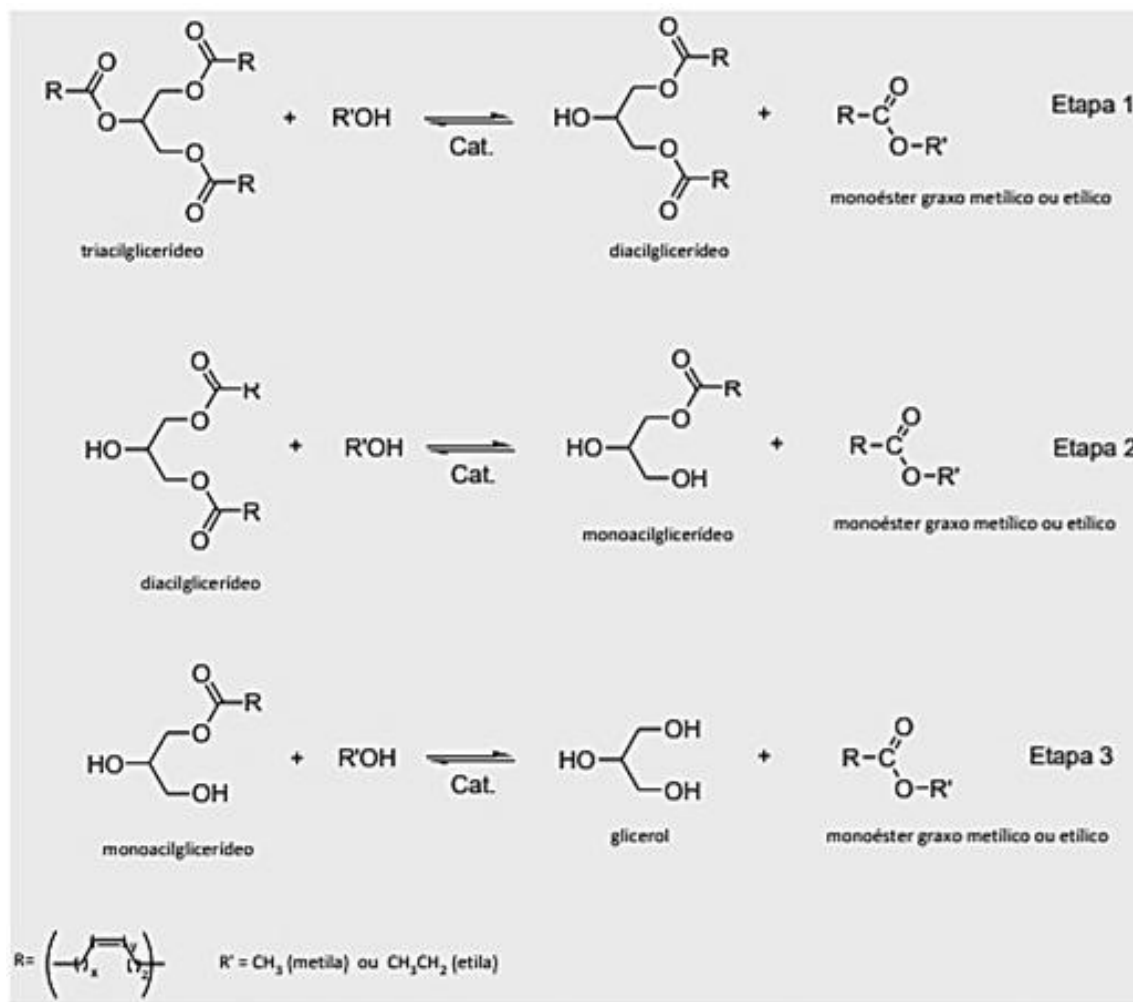
Fonte: ANP, 2021

Especificamente para o estado de Goiás, o sebo bovino é matéria-prima abundante, já que possui 10,6% do total nacional do rebanho de bovinos do Brasil, de acordo com a Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM) (SEAPA, 2020). Ressaltando-se que embora seja uma matéria-prima amplamente disponível no estado, não é a mais utilizada para a produção de biodiesel, pois o óleo de soja corresponde a 76,75% das matéria-prima usada, enquanto a gordura bovina corresponde a somente 3,81% (JORNAL DIÁRIO DO ESTADO, 2021).

Existem vários métodos para a produção do biodiesel: o uso direto de óleo vegetal, as microemulsões, o craqueamento térmico (pirólise) e a transesterificação (SHARMA; DOLL; ERHAN, 2008). A transesterificação é o método mais utilizado para a produção de biodiesel no mundo, devido à sua simplicidade, e tem sido amplamente utilizado para converter óleo vegetal ou residual em biodiesel (ALMEIDA et al., 2015).

A reação de transesterificação, conforme mostrado na Figura 2, também conhecida como alcoólise, é a reação de óleo ou gordura vegetal com um álcool, na presença de um catalisador, formando ésteres e glicerol. Ela possui reações intermediárias que objetivam a conversão dos triglicerídeos em ésteres com menor massa molecular.

Figura 2: Etapas reacionais envolvidas na transesterificação de triacilglicerídeos

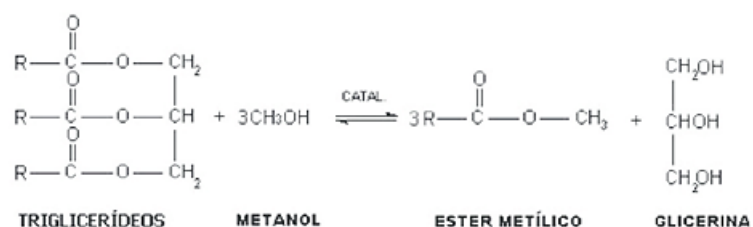


Fonte: MENEGHETTI; MENEGHETTI; BRITO, 2013

Tal figura demonstra inicialmente a molécula de triglicerídeo (base de Brönsted - Lowry) recebendo um próton H⁺ da molécula de álcool (ácido de Brönsted - Lowry) e formando um alcóxido. Posteriormente, o diacilglicerídeo reage, novamente na presença de álcool e sofre “gradualmente ataque nucleofílico do alcóxido produzido anteriormente, formando intermediários tetraédricos, [...]”, tais intermediários formam “um éster e outro alcóxido, o qual, após a desprotonação do ácido conjugado da base, regenera a base de partida”. Essas reações ocorrem sucessivamente, convertendo quase todos os triacilglicerídeos, diacilglicerídeos e monoacilglicerídeos em glicerol e ésteres alquílicos (MENEGHETTI; MENEGHETTI; BRITO, 2013, p.70).

Para completar uma reação de transesterificação, estequiometricamente, a razão molar necessária é de 3:1 de álcool:triglicerídeos, conforme mostra a Figura 3. Na prática, para ter um rendimento máximo de éster, a relação molar deve ser maior do que a estequiométrica, para deslocar o equilíbrio para os produtos e permitir a separação do glicerol formado, conforme o Princípio de Le Chatelier (LANG et al., 2001).

Figura 3: Estequiometria da reação de transesterificação de triglicerídeos com o metanol



Fonte: MARQUES, 2012

A partir do tema proposto, insere-se a problemática apresentada por Cobus e Prado (2019, p.8).

Tradicionalmente, a reação de transesterificação pode ser efetuada em batelada ou em fluxo contínuo utilizando aquecimento convencional e agitação mecânica. Entretanto, há um fator que dificulta este processo, pois como os reagentes são parcialmente miscíveis, há uma barreira inicial a ser vencida, aumentando assim, o tempo de reação.

Mediante a problemática, desejou-se investigar as variáveis que tornam o processo de produção do biodiesel por transesterificação mais eficiente, viável economicamente e mais sustentável. Algumas hipóteses para conseguir tal objetivo foram: reduzir o tempo e consumo de energia usado no processo de transesterificação pelo método convencional e a quantidade do catalisador e do álcool necessários para obter o produto desejado. A investigação foi feita mediante a análise laboratorial com o auxílio de uma ferramenta estatística denominada Planejamento Experimental.

Entre as questões que este trabalho busca estudar, estão: Existem maneiras de realizar o processo de transesterificação de forma mais rápida, sem diminuir a quantidade final do produto e sua qualidade? Existem maneiras de realizar o processo de transesterificação, utilizando uma menor quantidade de álcool e catalisador, sem diminuir a quantidade final do produto e sua qualidade?

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é verificar a potencialidade do sebo bovino para a produção de biodiesel, através da transesterificação assistida por ultrassom e estudar a influência das variáveis pelo Planejamento Experimental.

1.1.2 Objetivos Específicos

- 1) Estudar o processo de produção de biodiesel;
- 2) Realizar a extração da gordura do sebo bovino e caracterizá-lo físico-quimicamente;
- 3) Avaliar o potencial do uso do sebo na produção de biodiesel de qualidade;
- 4) Produzir biodiesel metílico através do banho de ultrassom;
- 5) Determinar as principais variáveis do processo de produção de biodiesel feito do sebo bovino a partir do planejamento experimental;
- 6) Comparar os rendimentos obtidos pelo método convencional e por ultrassom
- 7) Caracterizar físico quimicamente os ésteres alquílicos produzidos;

1.2 Justificativa

Uma das áreas mais pesquisadas no estudo da química se relaciona a produção de combustíveis ambientalmente corretos (que poluem menos) e que possuem viabilidade econômica maior, de acordo com Oliveira et al. (2017), Krause (2008) e Almeida et al. (2015). Nesse contexto, a produção de biodiesel vem ganhando destaque e o sebo bovino se configura como uma matéria-prima promissora devido a sua grande disponibilidade em abatedouros e possuir baixo custo de produção. Além disso, a reciclagem do sebo bovino não somente pode retirar um composto indesejado do meio ambiente, mas também pode permitir a geração de uma fonte de energia alternativa, renovável, mais competitiva economicamente e menos poluente. Se utilizando dos resíduos da gordura bovina para a síntese de biodiesel pode-se viabilizar economicamente o processo de produção, pois esse é fácil disposição.

Em larga escala, o biodiesel é produzido pelo processo de transesterificação, possuindo como destaque a obtenção da glicerina como subproduto, essa que é uma matéria-prima amplamente utilizada nas indústrias de cosméticos, assim como, a obtenção do biodiesel com menor massa molecular, como é a massa molecular do diesel. Como observado na Figura 1, a reação se completa somente após passar pelas três reações química intermediárias, na presença de um álcool e um catalisador (MENEGETTI; MENEGETTI; BRITO, 2013).

Assim, um combustível com menor massa molecular, possui menor viscosidade, contribuindo, dessa forma, para a diminuição de resíduos no motor e para o aumento da eficiência da sua queima. Tais vantagens que compensam alguns inconvenientes como o alto custo de energia e difícil retirada de subprodutos no processo (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009).

Diferentes tipos de álcoois, tais como metanol e etanol podem ser usados a fim de produzir o biodiesel (DABDOUB; BRONZEL; RAMPIN, 2009). Mas, em sua produção, o metanol é amplamente utilizado, devido a sua alta disponibilidade industrial e obtenção de um produto com menor massa molecular. A rota etílica, por outro lado, possui como benefício o baixo custo devido à sua grande produção, principalmente em usinas sucroenergéticas (VIDAL, 2020). Ressalta-se, entretanto, que tal rota pode tornar o processo um pouco mais complexo e exigir alguns ajustes nos parâmetros operacionais da reação (WANG et al., 2007). Os catalisadores alcalinos têm sido muito utilizados, como as bases fortes constituídas por hidróxido de sódio (NaOH) e hidróxido de potássio (KOH), devido ao fato de apresentarem menor tempo de reação e baixo custo (COSTA NETO et al, 2000).

O uso do ultrassom de alta potência é uma alternativa para acelerar o tempo de produção de ésteres, pois gera cavitações de microfluxos em líquidos, por meio do aquecimento e ruptura dos sólidos. Ela produz instabilidade nas interfaces líquido-vapor, líquido-líquido e líquido-sólido. Esse fenômeno causa a formação e o colapso de microbolhas de gás em um líquido, e efeitos sonoquímicos¹. A implosão ocorre quando as bolhas atingem um tamanho crítico, liberando calor e pressão elevados, tendo como características, curtos períodos e locais específicos do líquido. O método de ultrassom proporciona: o aumento da miscibilidade entre os reagentes, a energia necessária para a reação, a redução da quantidade de reagentes e a diminuição do tempo de

¹ “Efeito de ondas ultrassônicas sobre sistemas químicos. O princípio físico dessa técnica é a cavitação acústica que ocorre devido a transmissão de energia acústica do transdutor ultrassônico para o sistema reacional” (CHITARRA, 2013).

produção. Assim, o rendimento e a pureza do produto podem apresentar melhores resultados (POPIOLSKI, 2011).

O planejamento experimental estatístico vem sendo considerado uma ferramenta eficaz e imprescindível para o desenvolvimento de processos, principalmente quando muitos fatores estão envolvidos. Tal ferramenta permite aperfeiçoar as condições de processo, maximizando os rendimentos, a produtividade e a viabilidade comercial, ou mesmo conduzindo o processo à obtenção de um produto com as especificações desejadas, ajudando no melhoramento dos resultados (HUANG; CHANG, 2010).

Dessa forma, os objetivos desse trabalho foram reutilizar o biodiesel a partir da transesterificação alcalina do sebo bovino, assistida por ultrassom e analisar os fatores significativos isoladamente e, as interações significativas entre esses fatores, assim como, a combinação ótima dos fatores que podem alcançar um maior rendimento do processo e sua viabilidade econômica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Revisão do Biodiesel

O biodiesel de sebo bovino é um composto formado em sua maioria por ácidos graxos de cadeia saturada, possuindo assim estruturas químicas semelhantes às dos óleos vegetais. As diferenças estão nos tipos e distribuição dos ácidos graxos combinados com o glicerol (KRAUSE, 2008). Sua composição de ácidos graxos, comparada a composição do óleo de soja encontra-se mencionada na Tabela 1.

Tabela 1: Composição de ácidos graxos dos biocombustíveis de óleo de soja e sebo

Ácido graxo	Fórmula	Biodiesel	
		Soja (%)	Sebo (%)
Mirístico	C14:0	0,0	4,0
Palmitico	C16:0	10,0	27,0
Estearico	C18:0	4,0	24,0
Oleico	C18:1	23,0	40,0
Linoleico	C18:2	53,0	3,0
Linolênico	C18:3	8,0	0,5
Eicosanóico	C20:0	1,0	0,5
Gadolênico	C20:1	0,5	1,0
Bêenico	C22:0	0,5	0,0

Fonte: VARÃO et al., 2017

Analisando a Tabela 1, é possível perceber que dos ácidos graxos constituintes do óleo de soja, 84,5% são ácidos insaturados, como o ácido Linoleico (componente majoritário), ácido Oleico e ácido Linolênico, enquanto dos ácidos graxos que constituem o sebo bovino, apenas 44,5% são insaturados. Assim, restam 55,5% de ácidos graxos saturados, como o ácido Mirístico, Palmítico, Estearico e Eicoisanóico. Essa composição evidencia que sem grandes alterações de temperatura e pressão o sebo é mais estável que os demais óleos por não possuir insaturações, que são “caminhos” por onde as reações podem ocorrer (VARÃO et al, 2017).

Entre os trabalhos já publicados sobre a temática, se faz relevante o estudo de Barnwal e Sharma (2005), o qual descreve algumas vantagens da combustão do biodiesel comparado a combustão do diesel, entre elas: a completa eliminação do SO₂, a redução da emissão de fuligem, monóxido de carbono, hidrocarbonetos e gases aromáticos. Outros bônus do biodiesel incluem: origem nacional, lubrificabilidade, renovabilidade, biodegradabilidade, bem como a miscibilidade com petrodiesel e maior ponto de fulgor (menor temperatura na qual são liberados vapores que podem inflamar ao serem expostos a processos de ignição), contribuindo para um manuseio e armazenamento mais seguros (KRAHL et al., 2009).

Em relação a especificidade do sebo bovino, pode se citar como vantagem o seu alto rendimento, podendo proporcionar até 93% de sua massa no produto (Levy, 2011), além de ter alto poder calorífico, maior número de cetano (ideal para a qualidade da combustão, pois evita corrosão nos pistões, permite uma ignição mais rápida e emite menos poluentes), menor índice de iodo (mede quantitativamente as ligações duplas) e maior estabilidade a oxidação (BARROS; JARDINE, 2021). A dificuldade encontrada no manuseio e transporte desse material comparando-o a outros óleos, é a sua temperatura de solidificação (aproximadamente 40 °C), estar acima da temperatura ambiente (25 °C), devido à alta concentração de ácidos graxos saturados presentes no sebo bovino. Tal característica faz com que seja necessário o seu aquecimento para que consiga ser miscível por outros reagentes (SBRT, 2021). Além disso, sua alta temperatura de solidificação, influencia no seu alto ponto de névoa (temperatura em que o líquido, por refrigeração, começa a ficar turvo) e de fluidez (temperatura mais baixa na qual um óleo flui apenas influenciado pela gravidade), de modo que pode interferir na velocidade cinemática (resistência oferecida pelo biodiesel ao escoamento) e fazer com que o biodiesel gerado por essa matéria-prima consiga se

tornar espesso o suficiente para entupir filtros ou não conseguir se locomover do tanque ao motor” (VARÃO et al., 2017).

Como desvantagem do biodiesel, também se menciona a sua rápida oxidação, conforme Encarnação (2008, p. 35).

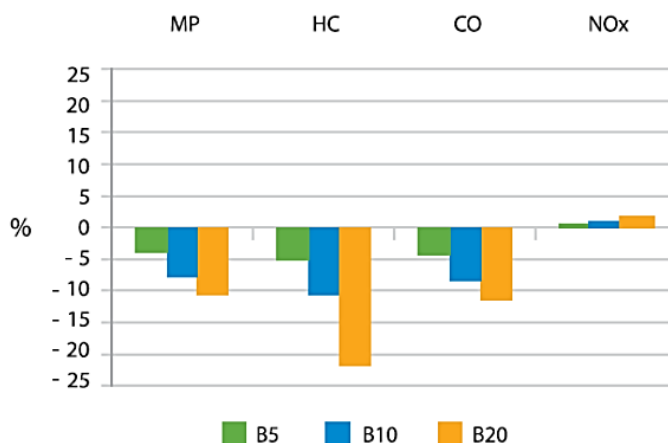
Em todas as fases de seu ciclo de vida, da produção à combustão no motor, passando pela estocagem, o biodiesel está sujeito a ser oxidado, por isso ele se degrada mais rápido que o diesel convencional, feito a partir de petróleo. O controle desse processo de oxidação é crítico para o bom funcionamento dos motores e para a criação de uma logística adequada para o biodiesel. Uma solução para estabilizar a oxidação do biodiesel é aditivá-lo com compostos antioxidantes naturais ou artificiais (ENCARNAÇÃO, 2008, p.35).

É importante destacar que devido o processo de oxidação ser causado por vários fatores, temperatura, pH, íons metálicos, presença de ácidos graxos insaturados, luz, radicais livres e condições de armazenamento, foi criada uma Resolução N° 798 da ANP, datada de 01 de agosto de 2019, que prevê a obrigatoriedade da adição de antioxidantes no biodiesel, com o objetivo de este possuir estabilidade oxidativa por um maior período de indução (ANP, 2019).

2.2 Poluentes do Biodiesel

Certamente o biodiesel é menos poluente que o diesel, à medida que emite menos materiais particulados, hidrocarbonetos e CO (aproximadamente 60% menos poluentes), de acordo com Guarieiro, Vasconcellos e Solci (2011). Conquanto, apesar dos pontos positivos, as pesquisas atuais, indicam como ponto negativo a geração de subprodutos, principalmente NO e NO₂, que em comparação a emissão dos mesmos poluentes na combustão do diesel, são maiores (em torno de 80% maiores), conforme aponta Ribas et al. (2016) e a Environmental Protection Agency (EPA, 2002), por meio do Figura 4.

Figura 4: Emissões de poluentes durante a combustão do biodiesel no motor a diesel



(MP) representa os materiais particulados

(HC) representam os hidrocarbonetos

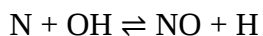
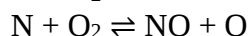
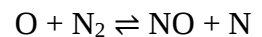
(CO) Representa a emissão de monóxido de carbono

(NO_x) representa a emissão de óxidos nitrogenados

(B5, B10, B20) representam a porcentagem de biodiesel na mistura com o diesel

Fonte: EPA, 2002

Assim como ilustrado na Figura 3, em todas as combustões das misturas de diesel com biodiesel, B5, B10 e B20, ocorrem a liberação de óxidos nitrogenados, sendo respectivamente 0,5%, 1% e 2% dos produtos resultantes da queima. Esses que são formados mediante a dissociação dos átomos de oxigênio das moléculas, causado pelas altas temperaturas da queima, e posteriormente, ligação com as moléculas N₂, presentes na atmosfera, conforme as reações químicas a seguir.



A classificação do NO_x gerado é influenciado pelas condições “tipo de motor e configuração, ciclo de serviço de injeção de combustível, controle de emissões”, conforme Ribas et al. (2016). Já a sua porcentagem pode depender da presença de antioxidantes (diminuem em até 43,5% seu lançamento), assim como, etanol e metanol no biodiesel, que diminuem o desprendimento de NO_x, mas aumentam a quantidade de hidrocarbonetos e CO produzidos (LIMA FILHO et al., 2017).

Outros subprodutos formados pela combustão do biodiesel incluem os compostos carbonilados, como acetaldeído, formaldeído, acroleína, que são classificados como tóxicos e causadores de carcinomas, além dos Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA), tais como o benzeno que também é tóxico (LIMA FILHO et al., 2017).

2.3 Catálise Alcalina Homogênea

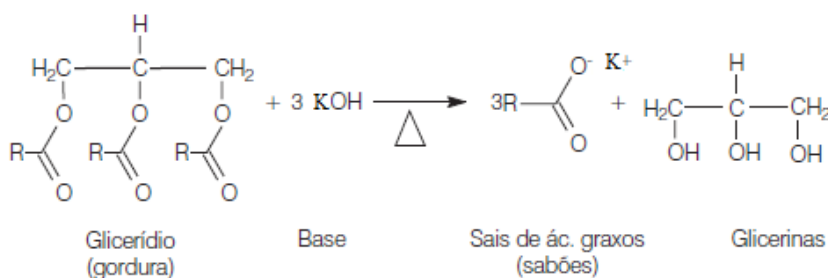
O catalisador pode ser entendido como uma substância que pode aumentar ou diminuir a energia de ativação de uma reação química, de maneira que sua massa permanece a mesma antes e depois. Ele ainda pode ser classificado como homogêneo, se esse encontrar-se na mesma fase dos reagentes, ou heterogêneo, se está em fase diferente dos reagentes. Destacando-se que, acaso esteja em sua classificação heterogênea, pode ser facilmente retirado dos produtos e reutilizado, ao contrário do que se observa nos catalisadores homogêneos, já que necessitam de outras etapas adicionais para serem retirados dos produtos, fato que encarece os custos de produção e por vezes, deixa resíduos que são danosos ao desempenho dos motores (SALVADOR et al., 2016).

O trabalho desenvolvido por PIETRE (2006) defende a reação de transesterificação promovida por catálise alcalina, já que é menos corrosiva que a catálise ácida e ocorre mais rapidamente. Além disso, Salvador et al (2016) descreve que existem catalisadores homogêneos que possuem rendimentos maiores que 98%, após 30 minutos de agitação e aquecimento, tais como alcóxidos de metais alcalinos. Porém, esses catalisadores básicos são tóxicos e economicamente inviáveis. Por outro lado, o KOH e o NaOH são amplamente aceitos industrialmente por não serem tóxicos e terem um alto rendimento, assim, são mais recomendados para a reação de transesterificação.

2.4 Inconvenientes da Reação de Transesterificação

Segundo KNOTHE (2006), um dos problemas da transesterificação alcalina (processo convencional) é a formação de sabão quando se utiliza matérias-primas com alto índice de acidez. Desse modo, é restringido uma variedade de óleos, pois aqueles que possuem um alto índice de acidez levam a redução do rendimento devido a reação-química desses que com o catalisador básico. A Figura 4 mostra a reação química com o catalisador básico que provoca a formação de sabões:

Figura 5: Reação química com o catalisador básico que provoca a formação de Sabões



Fonte: O autor, 2020

É importante ressaltar que a pureza dos reagentes pode comprometer o rendimento da transesterificação do biodiesel. Para evitar a ocorrência de reações de hidrólise dos triglicerídeos e a formação de sabões que consomem o catalisador, o meio reacional deve estar isento de água. As consequências de um descuido provocariam o aumento da viscosidade, formação de emulsões e dificuldade na separação da glicerina (DAMBISKI, 2007).

Dentre os pontos negativos encontrados na reação, é notável dois tipos de contaminação: (a) glicerina livre, decorrente da separação ineficiente da glicerina do produto da transesterificação; (b) glicerina combinada, produzida através da reação de transesterificação incompleta dos triglicerídeos que compõe os óleos vegetais, formando compostos intermediários que ainda estão ligados às moléculas de glicerina, por exemplo, diglicerídeos e monoglicerídeos (DAMBISKI, 2007).

2.5 Fatores do Planejamento Experimental

A reação de transesterificação, pode ser identificada principalmente pela presença dos reagentes triglicerídeos, álcool e catalisador. Mas existem outras condições que a determinam, como temperatura, velocidade de agitação, pressão, concentração dos participantes e tempo de aquecimento e agitação. Dessa forma, todas essas variáveis podem ser caracterizadas como fatores que podem alterar o rendimento de alguma forma. E é o controle desses fatores, por meio de maneiras distintas, que pode maximizar o rendimento da reação.

Neste trabalho destacam-se os fatores tempo de aquecimento e agitação, quantidade de catalisador e de álcool, que serão mais profundamente estudados. Ressalta-se, entretanto, que a temperatura é um dos fatores mais significativos conforme ARRUDA et al (2017, p.143), já que

descreve que “dentro dos intervalos experimentais estudados com diversos óleos vegetais e por diversos autores, quanto maior a temperatura, menor será o tempo reacional e a massa do catalisador, assim como, uma maior razão molar álcool-óleo”. Conquanto, nos experimentos laboratoriais, o fator temperatura não poderia ser variado no equipamento de ultrassom, pois esse só fornecia uma temperatura de aquecimento disponível de 65° C.

Para o fator álcool, é de conhecimento geral que a estequiometria da reação de transesterificação indica a proporção de 3 mol de álcool para 1 mol de triglicerídeo. Porém, deve ser acrescentado um excesso de álcool para deslocar o equilíbrio químico em favor da produção dos ésteres, conforme o Princípio de Le Chatelier (GERIS et al., 2007). Nos estudos de Jeong, Yang e Park (2009), foi apontado a razão molar metanol/óleo de 7,5:1, para a o rendimento de 98,6% do biodiesel de fonte animal e de metanol/óleo de 7:1, para o rendimento de 95,20%, quando o índice de acidez se encontra menor ou igual a 2,3% (SILVA, 2011).

O fator tempo, assim como o fator temperatura, é conhecido como fator significativo fundamental no rendimento de ésteres, pois a sua redução pode causar conversões inferiores, assim como, o seu aumento exacerbado, mesmo alcançando ótimo rendimento, pode elevar o valor monetário despendido para a produção (PINHEIRO, 2018). Realçando que Leung et al. (2006) observaram que o fator tempo em excesso, pode ser o causador da hidrólise do biodiesel, gerado pela água que é despendida da reação como subproduto.

O catalisador por outro lado, não possui consenso da quantidade ótima na literatura, apenas é apontado que “a condição do catalisador é modificada conforme os aspectos reacionais tais como tempo de reação, agitação, temperatura e tipo de óleo”, conforme Fontes (2012, p. 25). Salientando ainda, que mais do que o estudo da influência univariada dos fatores, o planejamento experimental visa também estudar a otimização multivariada dos fatores, que levam em consideração a interação entre os fatores que favorecem o rendimento reacional esperado (PINHEIRO, 2018).

3 METODOLOGIA

3.1 Produção de Biodiesel Bovino

A pesquisa experimental, que é derivada da pesquisa explicativa, se define como um estudo que se desenvolve a partir da escolha de um objeto e das variáveis que são capazes de influenciá-lo, definindo as formas de controle sobre ele (GIL, 2007). Inicialmente, os dados desse estudo foram quantitativos, sendo tratados estatisticamente. A combinação dos fatores analisados foram: tempo, quantidade de álcool e de catalisador que proporcionaram uma melhor eficiência do processo. As conclusões tiveram como base o enquadramento de características físico-químicas da matéria-prima com as leis vigentes e comparações de trabalhos científicos com a mesma temática.

3.1.1 Pré-Tratamento e Caracterização Físico-Química do Sebo Bovino (ASTM, 2010)

O Sebo bovino foi extraído através da fritura dos resíduos. A matéria-prima foi obtida em tacho de ferro sob fogareiro (com gás regulável), em fogo baixo, durante o tempo de aproximadamente uma hora. Após esse procedimento, o sebo foi filtrado em uma peneira para a retirada de impurezas sólidas, assim como, foi passado pelo processo de decantação para que se separassem o restante dos resíduos. Após tais processos de separação física, o sebo obtido foi armazenado em garrafas PET tampadas, em lugares frescos.

Em seguida, as propriedades físico-químicas como Índice de Acidez, o Índice de Saponificação e a densidade foram determinadas.

- A) Para a densidade do sebo: mediu-se a quantidade de matéria que um determinado volume possui, verificando assim se pode ter ocorrido processos oxidativos que aumentassem a massa molecular. Para esse método, calibrou-se um volume de 20 mL em uma proveta volumétrica. Em seguida, foi colocado o sebo derretido até o menisco de 20 mL da proveta e pesado a massa do material. Calculou-se a densidade do sebo através da divisão da massa obtida pelo volume calibrado de 20 mL da proveta.
- B) Para o Índice de Acidez: determinou-se por titulação ácido-base em triplicata, de acordo com o método da ASTM D 664. Esse método consiste em medir a massa de álcali necessária para neutralizar 1g de amostra, com o objetivo de indicar se o óleo ou gordura está sofrendo quebras em sua cadeia (se deteriorando), portanto, liberando

seus constituintes principais, os ácidos graxos. Para tal análise, foi pesado 1,25 grama do sebo e logo aqueceu-se o material até a temperatura de derretimento do sebo. Em seguida, adicionou-se 25 mL de uma solução 2:1 de éter etílico/álcool etílico, previamente preparada. Posteriormente, essa foi neutralizada com NaOH 0,01 mol/ L e 3 gotas de fenolftaleína até ficar levemente rosa. Determinou-se o Índice de Acidez seguindo a fórmula (1) abaixo, cujo resultado é expresso em mg (KOH)/g de amostra.

$$I_A = \frac{(V_{NaOH} * FC_{NaOH} * MM_{KOH} * N_{NaOH})}{m} \quad (1)$$

Onde:

V = Volume em mL gasto da solução de NaOH na titulação

N = Concentração normal da solução de NaOH

FC = Fator de correção da solução NaOH

m = Massa em gramas da amostra utilizada

MM = Massa molar do KOH

C) Para o Índice de Saponificação do sebo: foi analisado com base no método da ASTM D-5558. Ele consiste em definir a massa (mg) de álcali necessária para neutralizar os ácidos graxos, resultantes da hidrólise de um grama de amostra, objetivando medir a probabilidade de saponificação da gordura. Na determinação do índice de saponificação, pesou-se 2g da amostra e adicionou-se 20 mL de solução alcoólica de Hidróxido de Potássio a 4% m/v. Colocou-se a mistura em refluxo e em ebulição branda, durante 30 minutos. Logo em seguida, adicionou-se a Fenolftaleína e titulou-se à quente com ácido clorídrico 0,5 N até o desaparecimento da cor rósea. Calculou-se o Índice de Saponificação do sebo utilizando a fórmula (2) abaixo:

$$\text{Índice de Saponificação} \left(\frac{mgKOH}{g} \right) = \frac{(B - A) * N_{HCl} * PM_{KOH} * f_{HCl}}{m_{amostra}} \quad (2)$$

Onde:

B = Volume de ácido clorídrico gasto na titulação do branco (em mL)

A = Volume de ácido clorídrico gasto na titulação da amostra (em mL)

N_{HCl} = Normalidade da solução de ácido clorídrico

$m_{amostra}$ = Massa da amostra (em grama)

PM_{KOH} = Peso molecular do KOH

f_{HCl} = Fator de correção de HCl

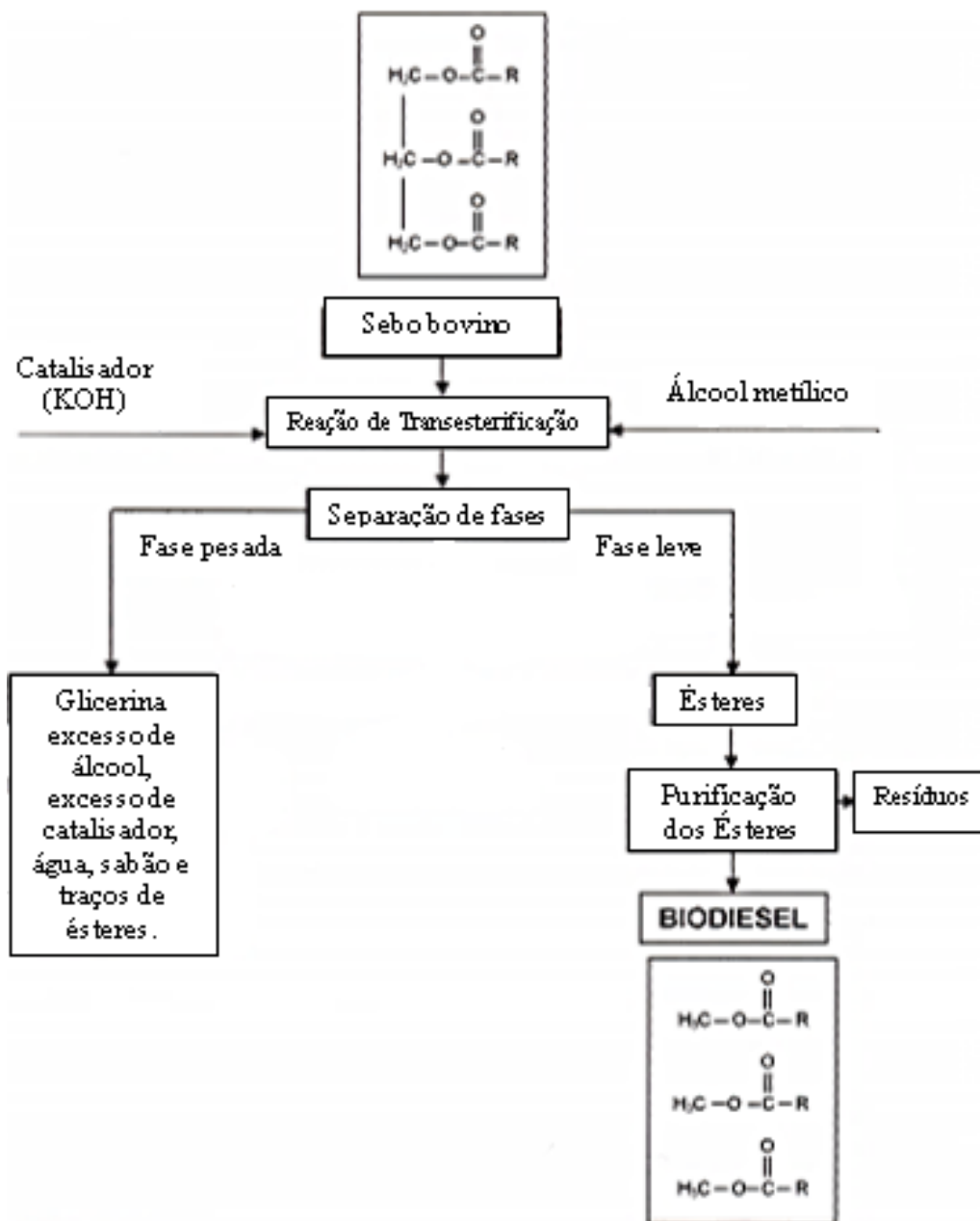
3.1.2 Procedimento da Reação de Transesterificação com Aquecimento Convencional

Em um recipiente sob agitação mecânica, misturou-se 1 grama de catalisador (Hidróxido de Potássio) com 15 mL de Metanol. Misturou-se a solução com 50 g de sebo derretido, em sistema fechado, seguindo a recomendação de Silva (2011), de proporções estequiométricas de metanol: triglicerídeo de 7:1. A mistura foi submetida a agitação magnética branda (em um agitador magnético modelo NT100 da marca Novatecnica), a temperatura de aproximadamente 45° C, durante 30 minutos (REIS et al., 2015).

Sobre a temperatura, estimava-se que “quanto maior a temperatura, menor seria o tempo de reação, assim como, temperaturas fixadas em 45° C apresentariam bons rendimentos para o processo” (BARROS; JARDINE, [201-?]).

Após o término da reação, separou-se o glicerol, o excesso de catalisador e o etanol do biodiesel, através do processo de decantação natural, sendo a fase superior mais clara, correspondente ao biodiesel. Lavou-se três vezes com 20 mL de água quente, a 80° C, a fim de realizar a extração de partículas solúveis e a neutralização. No final, secou-se o biodiesel em um funil para retirada da água e pesou-se o biodiesel produzido. O fluxograma a seguir ilustra o processo de transesterificação (REIS et al., 2015).

Figura 6: Fluxograma do processo de produção de biodiesel por transesterificação



Fonte: Modificado de MAPA, 2005

3.1.3 Procedimento da Reação de Transesterificação com Radiação Mecânica do som por Ultrassom

Além da produção convencional, que utilizou aquecimento com chapa aquecedora, as reações de transesterificações também foram realizadas sob radiação por ultrassom (em uma

lavadora ultrassônica, marca Cristofoli, com capacidade de 2,5L). Fez-se um pré-aquecimento, durante 40 minutos da água destilada usada no banho a fim de que ela chegasse à temperatura de 65° C para a realização do experimento (máxima temperatura do aparelho). O tempo da permanência da amostra no ultrassom foi estudado como sendo uma variável no processo de produção do biodiesel. Em seguida o material foi tratado semelhantemente ao processo convencional (REIS et al., 2015).

3.1.4 Caracterização Físico-química do Biodiesel

As análises do biodiesel devem ser realizadas de acordo com normas da American Society of Testing and Materials (ASTM, 2010), indicadas pela Resolução nº 42 da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e E-DIN 51606. As análises devem incluir: Índice de acidez, Índice de Saponificação, densidade e Índice de Peróxido.

- A) A densidade, o Índice de acidez e o Índice de Saponificação foram estudados igualmente a caracterização Físico-Química do Sebo (página 11).
- B) Índice de Peróxido do biodiesel: foi determinado com base no método orientado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento- MAPA (MAPA, 2012). Seu objetivo é indicar a rancidez e a tendência do produto em se tornar rançoso, já que após iniciado a oxidação, o processo autocatalítico desenvolve-se em aceleração crescente. Nesse método, se armazena uma solução saturada de iodeto de potássio em um frasco com tampa e na ausência de luz. Prepara-se uma mistura de 30 mL com proporção 3:2 em volume, respectivamente de Ácido Acético Glacial e Clorofórmio, e aproximadamente 5 g de amostra de óleo. Posteriormente, se adiciona um volume de 0,5 mL de solução saturada de Iodeto de Potássio ao erlenmeyer contendo a amostra. O sistema deve permanecer em descanso por 1 minuto, com agitação ocasional. Depois, 30 mL de água destilada deve ser adicionada ao erlenmeyer e esse deve ser titulado com solução de Tiossulfato de Sódio 0,1 N até a viragem de cor do amido. Calculou-se o Índice de Peróxido com a fórmula (3):

$$\text{Índice de Peróxido} \left(mEq \frac{\text{Peróxido}}{1000g} \right) = \frac{(S - B) * N_{K_2Cr_2O_7} * 1000}{m_{amostra}} \quad (3)$$

Onde:

S = Volume de tiosulfato usado na titulação da amostra (em mL)

B = Volume de tiosulfato usado na titulação do branco (em mL)

N = Normalidade da solução de $K_2Cr_2O_7$

$M_{amostra}$ = Massa da amostra (em grama)

3.1.5 O Planejamento Experimental das Variáveis: Tempo, Massa do Catalisador e Volume do Metanol (SILVA; BORGES NETO, 2013)

Um dos pontos mais importantes é com relação ao fato da reação de transesterificação ser conhecida quimicamente como uma reação de equilíbrio químico. Assim, buscou-se o deslocamento do equilíbrio, baseado no Princípio de Le Chatelier, para favorecer a produção do produto biodiesel. O Planejamento Experimental é explicado por VIEIRA (2011) como a otimização de todas as variáveis, como temperatura, catalisador e quantidade de reagentes que deslocam tal equilíbrio em função da maior produção do produto esperado.

Desta maneira, além de se utilizar excesso de um dos reagentes (no caso foi utilizado um excesso de Metanol), assim como, excesso do catalisador, também se utilizou um tempo maior de reação, sendo que tais resultados eram comparados com os resultados obtidos por meio da redução de tais fatores.

Para a interpretação dos efeitos dos parâmetros experimentais foi utilizado o Planejamento Experimental para estudar o rendimento da reação de transesterificação, quando utilizadas as quantidades máximas (representadas pelo símbolo +) e mínimas (representadas pelo símbolo -) pré-definidas. Ressaltando-se que antes de serem determinados tais valores, foram feitos testes iniciais para se ter uma noção dos melhores tempos e quantidades a partir das quais o experimento teria o seu melhor rendimento.

O número de amostras foi determinado pelo planejamento de experimentos fatorial, que representa uma fração dos testes completos feitos com a variação dos fatores. Assim, foi aplicado a fórmula 2^k , na qual n representa o número de fatores e o 2 representa o número de níveis (máximo e o mínimo), que deve ser mantido baixo, pois busca-se apenas a detecção de fatores mais significativos. Desse modo, foram feitos oito ensaios, já que existiam apenas três fatores: 2^3 . Sendo

que todos os ensaios eram feitos em duplicatas. A Tabela 2 indica o planejamento da matriz das amostras.

Tabela 2: Matriz do Planejamento Experimental para Transesterificação do Sebo Bovino

Matriz simbólica*				Matriz numérica			
Ensaio	Catalisador	Tempo	Álcool	Ensaio	Catalisador	Tempo	Álcool
1	-	-	-	1	0,8g	20min	13mL
2	+	-	-	2	1,2g	20min	13mL
3	-	+	-	3	0,8g	40min	13mL
4	+	+	-	4	1,2g	40min	13mL
5	-	-	+	5	0,8g	20min	20mL
6	+	-	+	6	1,2g	20min	20mL
7	-	+	+	7	0,8g	40min	20mL
8	+	+	+	8	1,2g	40min	20mL
*Legenda: (-) representa o valor mínimo (+) representa o valor máximo							

Fonte: O autor, 2020

Para o tempo, estudou-se o máximo de 40 minutos e mínimo de 20 minutos no Banho de Ultrassom, já para o Catalisador, analisou-se a massa máxima de 1,2 g e mínima de 0,8 g. Também, o volume do Álcool Metílico variou entre os volumes de 13 mL e 20 mL. Para se avaliar o grau de dispersão dos resultados obtidos em cada duplicata, foi utilizada a fórmula (4) do desvio padrão e fórmula (5) do coeficiente de variação.

$$desvio\ padrão = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n}} \quad (4)$$

Onde:

X = Resultado da amostra

$\bar{x}$ = Média dos resultados das amostras

$\sum$ = Somatório

n = Número de amostras

$$\text{Coeficiente de Variação} = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100\% \quad (5)$$

Onde:

σ = Desvio padrão

$\bar{x}$ = Média dos resultados das amostras

A Matriz determinou a características dos experimentos feitos com os valores máximos e mínimos dos fatores. Para estudar a sensibilidade dos parâmetros apresentados, utilizou-se o Diagrama de Pareto, por meio do pacote de softwares de estatística, desenvolvido pelo desenvolvedor Statsoft, Statistica 7. O Diagrama de Pareto é definido conforme Silva et al. (2014, p.3):

O Diagrama de Pareto é um recurso gráfico utilizado na estatística que permite colocar os dados em uma ordem hierárquica, ajudando a identificar e avaliar os parâmetros e as interações mais significativas sobre cada variável de resposta considerada em um processo. Ele consiste num gráfico de barras que ordena as frequências das ocorrências da maior para a menor e permite a localização de problemas vitais e a eliminação de perdas. Um valor positivo no diagrama de Pareto indica que o referido fator influencia a resposta analisada no sentido de aumentá-la. Da mesma forma, um valor negativo referente a um parâmetro analisado, significa que tal variável contribui no sentido de diminuir o valor esperado para a resposta analisada (SILVA, 2014, p.3).

Os fatores significativos foram analisados individualmente e em conjunto, quando interagem com outros fatores. Já os rendimentos gerados de cada amostra construída, eram calculados mediante o uso da massa inicial de sebo bovino (50g) em comparação à massa de biodiesel formada, assim quanto mais próximo a 50g o rendimento chegasse, mais próximo estaria do 100% de rendimento do processo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Pré-Tratamento e Caracterização Físico-Química do Sebo Bovino

No processo de corte da gordura bovina antes de ser fritada, foi perceptível que a primeira matéria-prima adquirida apresentava aspecto claro, assim como, textura lisa e dura, diferentemente da segunda matéria-prima, a qual se mostrava mais escura, mole e rugosa, conforme demonstrado na Figura 7.

Figura 7: Diferenças entre as Matérias-primas



Fonte: O autor, 2018

Após o processo de derretimento da gordura, a primeira amostra de sebo obtida possuía a presença de duas fases, uma esbranquiçada e pastosa e outra amarela e líquida, evidenciando que havia a presença de outros compostos que não se solidificavam à temperatura ambiente. Já a segunda amostra de sebo obtida possuía duas fases, pois havia a coloração mais amarelada na parte superior e mais esbranquiçada na parte inferior, evidenciando a separação de compostos pelo processo físico de decantação, conforme Figura 8.

Figura 8: Análise visual dos sebos obtidos



Fonte: O autor, 2020

Acredita-se que tais diferenças sejam causadas pelas condições de armazenamento da carne, pelas características genotípicas como raça, sexo e idade, pelas características fenotípicas, tais como tipo e quantidade de alimentação, temperatura do ambiente, disponibilidade de oxigênio e exposição a luz e pela prática feita pelos açougues de maturação da carne, que é o processo no qual as enzimas presentes deixam a carne mais macia e saborosa, assim alterando a sua coloração para uma tonalidade mais escura (MORENO; LOUREIRO; SOUZA, 2008). Além disso, comparando os dois processos de aquecimento, percebeu-se que aumentando a superfície de contato com o recipiente, obtinha-se um maior rendimento de sebo.

Supôs-se que tal coloração deveu-se aos processos de oxidação que tal gordura passou e, portanto, foi retirada da amostra a parte mais escura. Cabe ressaltar que todas as vezes que a matéria-prima era utilizada havia a homogeneização do sebo. Para validar a suposição foram realizadas as análises físico-químicas da matéria-prima.

Os parâmetros usados para indicar a qualidade das características físico-químicas, conforme observado na Tabela 3, foram extraídos de alguns parâmetros de gorduras e óleos modificados (submetidos a processos de alteração físicas e ou químicas) e parâmetros de óleos e gorduras que tenham altas porcentagens de ácido oleico e ácido palmítico, os quais são os principais óleos da composição do sebo bovino.

Tabela 3: Parâmetros de referência usados para caracterização físico-química do sebo

Caracterização Físico-Química	Parâmetro Referência	Limite
Densidade	DIN 51606 (1997)	0,875 e 0,90 g/cm ³
Índice de Acidez	ANVISA- RDC nº 482, de 23 de setembro de 1999	< 3% (mg KOH.g ⁻¹)
Índice de Saponificação	ANVISA- RDC nº 482, de 23 de setembro de 1999	184- 196 (mg KOH.g ⁻¹)

Fonte: O autor, 2021

Esses parâmetros foram usados já que não existem parâmetros específicos de qualidade para o sebo bovino após ter sido passado pelo processo de derretimento. Após os testes em laboratório, chegou-se aos resultados obtidos na Tabela 4.

Tabela 4: Caracterização físico-química das matérias-primas

Caracterização Físico-Química	1ª matéria-prima	2ª matéria-prima	Limite
Densidade	0,8803 g/cm ³	0,9020g/cm ³	0,875 e 0,90 g/cm ³
Índice de Acidez	2,8% (mg KOH.g ⁻¹)	1,9% (mg KOH.g ⁻¹)	< 3% (mg KOH.g ⁻¹)
Índice de Saponificação	171,49 (mg KOH.g ⁻¹)	165,50 (mg KOH.g ⁻¹)	184- 196 (mg KOH.g ⁻¹)

Fonte: O autor, 2021

Com a caracterização Físico-Química dos sebos, a densidade adquirida de cada um foi respectivamente: 0,8803 g/cm³ e 0,9020g/cm³, constatando-se que ambos estavam com proporções de sólido-líquido que não indicavam alto grau de oxidação ou adulteração, por estarem dentro das delimitações de densidade da DIN 51606 (1997) que varia entre 0,875 e 0,90 g/cm³.

O Índice de Acidez é definido como o teor de ácidos graxos livres em óleos e indica o grau de quebra de suas cadeias carbônicas (quando catalisadas alcalinamente) e pode levar ao aumento da probabilidade da formação de sabão (SERRA, 2010). Foi constatado nos experimentos que os valores também ficaram dentro da normatização da ANVISA, na Resolução RDC nº 482, de 23 de setembro de 1999, que considera a máxima acidez de 3%. Os valores obtidos foram: 2,8% e 1,9%.

Cabe mencionar, entretanto, que existem estudos que apontam como altos os índices de acidez acima de 1%, de acordo Anderson Kurunczi Domingos (engenheiro químico), em entrevista a BiodieselBR (BIODIESELBR, 2007) e acima de 2,5% (LEUNG et al., 2010) para produção de biodiesel via catálise homogênea em meio alcalino, já que em tais concentrações o catalisador consegue reagir com os ácidos graxos livres, formando sabão. Nesse sentido, os índices de acidez achados que estão acima dos dois valores aumentariam a formação de sabão durante o processo.

A análise do Índice de Saponificação indicou os resultados: 171,49 e 165,495 (mg KOH.g⁻¹), que se encontram abaixo dos valores estipulados da ANVISA, na Resolução RDC nº 482, de 23 de setembro de 1999, a qual estabelece os parâmetros de 184- 196 para os óleos com características semelhantes (com maior porcentagem de ácidos oleico e palmítico). Mostrando assim, mais probabilidade de saponificação da gordura.

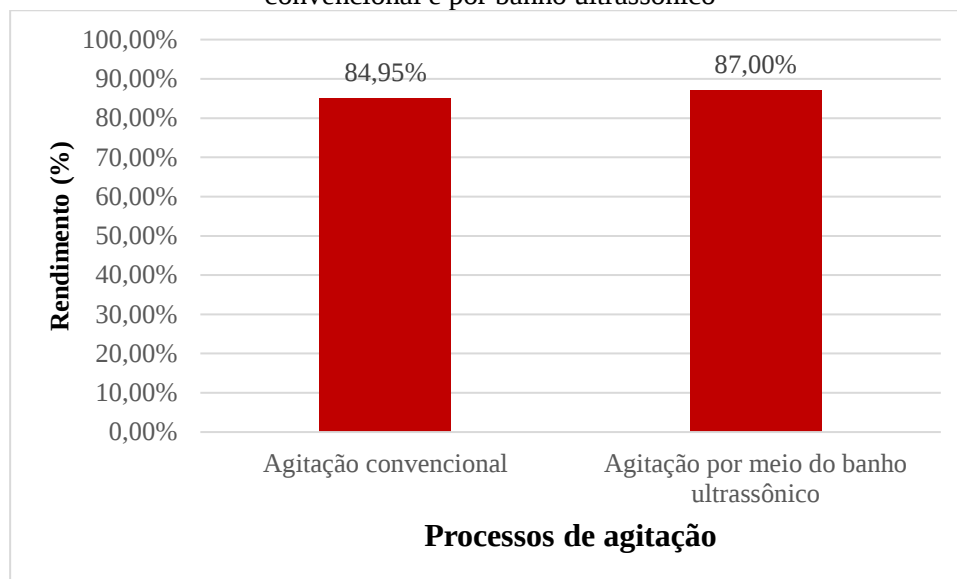
4.2 Comparações entre o Processo Convencional de Produção de Biodiesel com a Utilização do Banho de Ultrassom

Inicialmente, foram feitos testes de temperatura para verificar as temperaturas que o sebo estaria totalmente solidificado, totalmente derretido, assim como, entrando em processo de solidificação. Chegando-se aos resultados respectivos de 31,6° C, 41° C e 36,3° C. Para tanto, a alta temperatura de solidificação demonstrou ser um impecílio para a passagem da matéria-prima de um recipiente para o outro, podendo haver a possibilidade de perda de massa, já que em estado sólido, o sebo demonstrou-se pegajoso a vidraria.

Constatou-se que a chapa aquecedora estava descalibrada, e dessa forma o controle de temperatura na produção convencional do biodiesel poderia facilmente ultrapassar a temperatura ótima da reação de transesterificação em meio alcalino (45° C) e provocar a formação de outros compostos como aldeídos, peróxidos e ácidos, já que o calor aumenta a velocidade de oxidação da gordura. Também, o descontrole da temperatura poderia fazer com que o álcool entrasse em ebulição e não houvesse o processo de transesterificação que é o meio de produção do biodiesel. Com o Ultrassom, o processo de aquecimento ocorreu de forma homogênea e de forma controlada a solução sebo/ metanol.

Para análise quantitativa, quando usado os valores de 50g de sebo bovino, 15 mL de metanol e 1g de KOH, à temperatura de 45° C, o processo convencional, feito em agitador magnético com aquecimento apresentou a média de rendimento de 42,4789g de biodiesel, enquanto que pelo uso do banho de ultrassom, feito na lavadora ultrassônica com aquecimento de 65°C, a média de rendimento foi de 43,5003g de biodiesel, aproximadamente um grama a mais que apresentou o processo convencional (2,05% de rendimento a mais), conforme mostra a Figura 9.

Figura 9: Comparação entre o rendimento (%) do processo de produção de biodiesel pelo processo convencional e por banho ultrassônico



Fonte: O autor, 2021

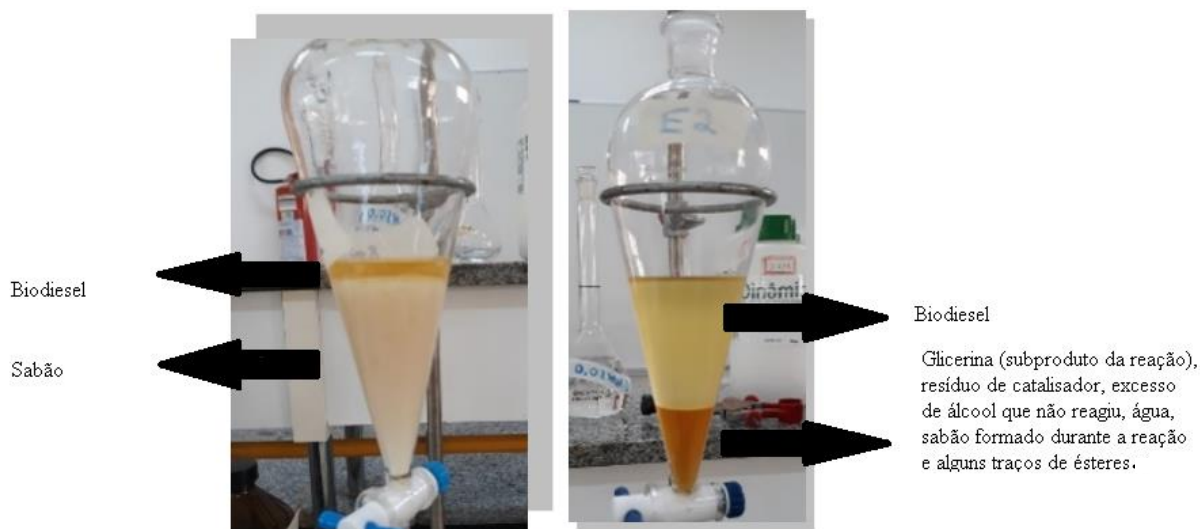
Tais resultados evidenciaram respectivamente 84,95% e 87,00% de rendimento da massa inicial de 50g de sebo usada, indicando um rendimento satisfatório, maior que o óleo de dendê, 74,80% e que o óleo de moringa, 83,68%. Também, indicou um rendimento menor que o óleo de girassol, 98,60%, milho, 92,22% soja, 94,32% e algodão, 92,20%, de acordo com Santos (2010), Oliveira (2012) e Quessada et al. (2010).

Uma observação é que a separação de fases no banho ultrassônico, à 65°C, foi evidenciada logo nos 16 primeiros minutos, conforme apontado por Arruda et al (2017), que descreve que quanto maior a temperatura, menor será o tempo reacional. Infere-se assim, que a temperatura funcione como um fator significativo positivo para obtenção de maior rendimento do processo. Além disso, foi observado que no processo de decantação das duas fases formadas após o processo de transesterificação, o material submetido ao aquecimento pela chapa aquecedora, à 45°C, apresentou tardia separação. Podendo-se justificar pelo fato de que a agitação realizada pelo banho ultrassônico promove maior agitação e contato reacional entre as espécies da reação, já que gera instabilidade intermolecular causada pela formação de microbolhas, gerando assim, menos resíduos e uma maior conversão do biodiesel.

4.3 Estudos da variável: Tempo da reação de Transesterificação Utilizando o Ultrassom

Inicialmente, testou-se os períodos de 8 e 16 minutos no banho ultrassônico para a reação, pois foi observado que aproximadamente nesse tempo já se iniciava a conversão do biodiesel. Utilizando o tempo de 8 minutos de aquecimento, houve a formação de sabão e com 16 minutos constatou-se um rendimento de 42,7136g da amostra inicial de 50 g da amostra, conforme ilustra a Figura 10:

Figura 10: Comparação entre o rendimento do Biodiesel bovino formado após 8 e 16 minutos de Banho Ultrassônico



Fonte: O autor, 2019

Na Figura 9, é perceptível a separação de fases durante o processo de decantação dos produtos obtidos, sendo que a parte superior corresponde ao biodiesel que possui baixa densidade e a parte inferior corresponde a mistura de “glicerina (subproduto da reação), resíduo de catalisador, excesso de álcool que não reagiu, água, sabão formado durante a reação e alguns traços de ésteres e glicerídeos”, conforme Barros e Jardine [201-?].

Entende-se que a formação do sabão se deveu a redução do tempo de agitação da mistura, que foi desfavorável à diluição do catalisador. Somado a isso, estima-se que a alta probabilidade de ocorrência do processo de saponificação causado pelo alto índice de acidez, levou o catalisador a reagir com os reagentes e não sair inalterado nos produtos obtidos (SILVA, 2018). Assim, evidencia-se que para conter tal reação deve-se usar matérias-primas com baixos índices de acidez.

4.4 Estudos da variável: Massa do Catalisador na Produção de Biodiesel Utilizando o Ultrassom

Para essa análise, foram inicialmente estudados os valores de 0,75g, 1g e 1,5g de KOH, em duplicata, no processo utilizando o banho ultrassônico, que resultaram, em média, nos rendimentos de 7,0889g, 42,2495g e 37,8863g, conforme demonstra a Tabela 5.

Tabela 5: Análise da variação do fator catalisador

Características dos ensaios				Rendimento			
Ensaio	Catalisador	Tempo	Álcool	Ensaio	Rendimento(g) Amostra 1	Rendimento(g) Amostra 2	Rendimento(g) Média
1	0,75g	30min	15mL	1	7,0889g	8,6690g	7.8795g
2	1g	30min	15mL	2	46,1291g	42,3699g	44,2495g
3	1,5g	30min	15mL	3	39,3522g	36,4205g	37.8863g

Fonte: O autor, 2022

Calculando-se o grau de dispersão do conjunto de amostras de cada ensaio, chegou-se aos coeficientes de variação respectivos de 4,2477% para o 1º ensaio, 3,8691% para o 2º ensaio e 10,0267% para o 3º ensaio. Assim, tal cálculo de precisão indica com coeficientes baixos, que determinam ensaios razoavelmente homogêneos.

Com tais resultados, acredita-se que a menor e a maior quantidade de catalisador diminuam o rendimento final da amostra que continha apenas 0,75g e 1,5g de catalisador. Sendo notório, portanto, que o aumento do catalisador não aumenta a produção do biodiesel. Também, foi observada a ocorrência de formações sólidas, na reação que utilizava 0,75g de KOH, com texturas semelhantes ao sebo, evidenciando que tal reação não foi completa, conforme ilustra a Figura 11.

Figura 11: Estrutura sólida formada quando utilizado 0,75g de KOH como catalisador



Fonte: O autor, 2019

4.5 Elaboração do Planejamento Experimental com as Variáveis: Tempo, Massa de Catalisador e Volume de Álcool

Os resultados obtidos da combinação dos fatores podem ser analisados na Tabela 6.

Tabela 6: Rendimento em massa das amostras

Matriz simbólica*				Rendimento			
Ensaio	Catalisador	Tempo	Álcool	Ensaio	Rendimento(g) Amostra 1	Rendimento(g) Amostra 2	Rendimento(g) Média
1	-	-	-	1	r.n.	r.n.	r.n.
2	+	-	-	2	r.n.	r.n.	r.n.
3	-	+	-	3	49,5973g	49,1579g	49,3776g
4	+	+	-	4	18,8281g	39,6972g	29,2626g
5	-	-	+	5	13,1876g	13,4023g	13,4023g
6	+	-	+	6	13,9697g	12,6974g	13,3335g
7	-	+	+	7	16,1688gg	14,6937g	15,4292g
8	+	+	+	8	r.n.	9,0425g	4,5212g
*Legenda: (-) representa o valor mínimo (+) representa o valor máximo (r.n.) representa rendimento nulo							

Fonte: O autor, 2019

Em primeira análise, foi notado que com os valores mínimos estipulados de cada variável, no Ensaio 1 (de 0,8g de KOH, 13mL de metanol e 20 min de aquecimento, conforme a descrição dos ensaios contida na página 30 do trabalho), o rendimento foi nulo, havendo a formação mínima de biodiesel, não sendo possível a separação de fases por conta da sua demasiada viscosidade não se deixar escoar pelo orifício do funil decantador.

Sugere-se que tal rendimento tenha sido causado pela pouca quantidade disponibilizada de catalisador e álcool que não foram suficientes para se fazer reagir a totalidade do sebo disponibilizado. Além de provocar a reação inversa de transesterificação ao deslocar o equilíbrio no sentido dos reagentes quando se diminuir a quantidade dos reagentes.

Com os valores do Ensaio 2 (1,2g de KOH, 13 mL de metanol e 20 min de aquecimento), observou-se o aparecimento de sabão, podendo indicar que o uso da quantidade mínima de álcool (13 mL) também não favoreceu a reação de transesterificação. Ressaltando que são várias as razões

para que ocorra a formação de sabão no processo, entre elas a hidrólise dos triglicerídeos, pureza dos reagentes e a reação do catalisador com os ácidos graxos livres.

Para o Ensaio 3 (que utilizou 0,8g de KOH, 13 mL de metanol e 40 min de aquecimento), observou-se um ótimo rendimento de média 49,3776g, ou 98,7552%, evidenciando que o maior tempo de reação, mesmo utilizando valores mínimos do álcool e do catalisador, aumentou o tempo de contato entre os reagentes, promovendo uma maior dissolução e reação entre eles. A análise de precisão dos resultados forneceu o ótimo coeficiente de variação de 0,4449%, indicando que tais amostras foram homogêneas.

Já o Ensaio 4 (foi realizado com as quantidades de 1,2g de KOH, 13mL de metanol e 40 min de aquecimento), demonstrou-se viscoso para ser retirado pelo orifício de baixo do funil decantador, só sendo possível retirá-la pelo orifício superior dele, utilizando-se uma pipeta. Também, observou-se a inversão de densidade entre as fases, evidenciando a maior densidade do biodiesel formado. Além disso, houve a rápida solidificação dos produtos e a média de rendimento do biodiesel foi de 29,2626g, ou 58,5252%. Para a análise de precisão dessas amostras, foi apontado o coeficiente de variação de 35,6583%, evidenciando com um alto coeficiente, amostras menos homogêneas.

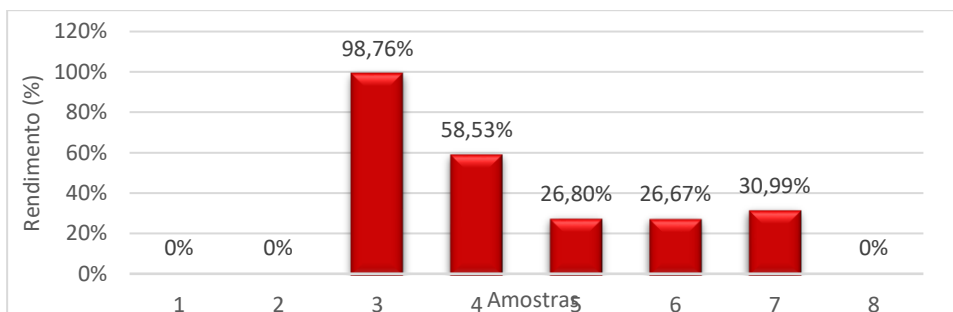
A análise do Ensaio 5 (no qual foram usados os valores de 0,8g de KOH, 20mL de metanol e 20 min de aquecimento), revelou a média de rendimento de 13,4023g, ou 26,8046%, destacando-se a grande formação de resíduos mais densos que o biodiesel, que podem ser explicados pela diminuição de catalisador e do tempo. Vale ressaltar que sua análise de precisão indicou um coeficiente baixo de 0,8010%, indicando que suas amostras foram razoavelmente homogêneas.

Os valores do rendimento do Ensaio 6 (compreenderam 1,2g de KOH, 20mL e 20 min de aquecimento) alcançaram a média de 13,3335g, ou 26,667%. Seu coeficiente de variação mostrou-se razoavelmente baixo, ao obter o valor de 4,7711%. Já para o Ensaio 7 (foram utilizados 0,8g de KOH, 20mL e 40 min de aquecimento), chegou-se à média de rendimento de 15,4292g, ou 30,9884%, destacando-se novamente que a utilização do valor mínimo do catalisador levou a um menor rendimento. Seu coeficiente de variação apresentou a porcentagem de 3,9053, sendo também, caracterizada como razoavelmente baixa.

Por último, o Ensaio 8 (formado por 1,2g de KOH, 20mL de metanol e 40 min de aquecimento) não obteve rendimento, pois houve a formação de sabão na amostra 1, resultando em um rendimento nulo, com coeficiente de variação de 100%.

Assim, após análise e cálculo dos rendimentos obtidos, chegou-se nos resultados presentes na Figura 11.

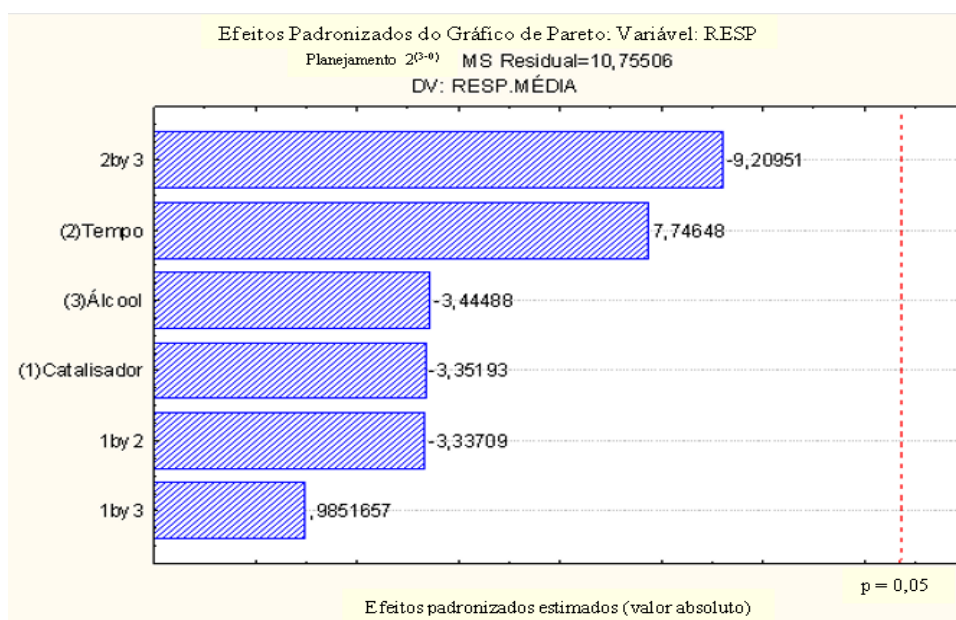
Figura 12: Rendimento em porcentagem das amostras



Fonte: O autor, 2019

Para garantir a interpretação do estudo univariado dos fatores, da mesma forma que, interpretar os resultados multivariados, construiu-se o Diagrama de Pareto, mostrado na Figura 12, no qual observa-se o estudo dos fatores (1) Catalisador, (2) Tempo e (3) Álcool, assim como, a interação entre os fatores 1 e 2 (1by2), a interação entre os fatores 2 e 3 (1by3) e a interação entre os fatores 1 e 3 (1by3), a um nível de confiança de 95%.

Figura 13: Diagrama de Pareto do rendimento (g) das análises univariadas e multivariadas



Fonte: O autor, 2022

Conforme Silva (2011), apenas são considerados resultados significativos aqueles que estão ao nível de 95% de confiança, ou seja, que extrapolam a linha tracejada vermelha, que corresponde a ($p = 0,05$), sendo, portanto, que dentre os resultados obtidos, nenhum foi significativo. Porém, apesar de nenhum resultado ter se demonstrado significativo no planejamento experimental, o fator tempo, demonstrou uma das principais análises como fator univariado, pois apresentou um aumento de 7,74648 no seu rendimento em gramas quando passou de 20 minutos para 40 minutos de agitação e aquecimento e, portanto, deve ser mantido em nível alto (+). Tal resposta mostra-se condizente com a pesquisa realizada por Pinheiro (2018), que descreve que a redução de seus valores pode alcançar conversões insuficientes de ésteres, ressaltando que o mesmo autor evidencia que ao aumentar o tempo de reação, é encarecido o processo de produção de biodiesel.

Outro principal dado demonstrado pelo Diagrama de Pareto é a interação negativa que o fator 2 (Tempo) possui com o fator 3 (Álcool), evidenciando que quando aumentamos o tempo e o álcool, o rendimento em massa decresce. Assim, percebe-se que se deve manter um desses dois fatores em nível alto e outro em nível baixo para que se tenha melhores rendimentos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante o estudo experimental apresentado no trabalho, foi possível perceber que a rota de produção de biodiesel a partir do sebo bovino é interessante financeiramente pela disponibilidade da matéria-prima e pela estabilidade oxidativa que possui devido à presença de poucas cadeias insaturadas em sua composição orgânica. Além disso, a sua utilização retiraria os resíduos bovinos que poderiam ser descartados de forma incorreta no meio ambiente.

Constatou-se também que não existem legislações específicas que possibilitem a formação de um padrão de qualidade, por meio da caracterização físico-química do sebo bovino, sendo necessário fazer comparações com espécies que tenham especificidades parecidas com essa matéria-prima. Estima-se que a falta desses padrões de qualidade encareça os processos de produção, conforme também mencionam Varão et al. (2017).

De acordo com tais aproximações, o sebo bovino encontra-se dentro dos parâmetros DIN 51606 (1997) e ANVISA – RDC nº 482, de 23 de setembro de 1999, de densidade e índice de acidez, sendo eficiente para a produção do biodiesel. Mas, abaixo do parâmetro de saponificação, demonstrando um peso molecular alto. Ainda, sobre o índice de acidez, pode ser considerado como alto quando comparado com outras literaturas, assumindo como esse o causador da sua alta probabilidade de saponificar.

O sebo bovino demonstrou-se de difícil manipulação, pois sua solidificação demonstra-se quase que instantânea após retornar a temperatura ambiente. Assim, presume-se que ocorreram perdas de massas no manipular dos experimentos, entre as vidrarias.

Comparando-se as rotas convencional e por banho ultrassônico, quando utilizado as mesmas quantidades de gordura bovina (50g), álcool - metanol (15mL) e catalisador – KOH - (1g), mas diferenciando-se na temperatura – método convencional (45°C) e método utilizando o ultrassom (65°C), percebeu-se que o rendimento foi maior quando o aquecimento foi feito por meio dos efeitos sonoquímicos, que promovem maior interação entre os reagentes. Ressaltando-se, porém, que a maior temperatura empregada no banho de ultrassom possa ter sido a responsável por aumentar o rendimento de biodiesel, conforme apontado por Arruda et al (2017).

Aponta-se, sobre os ensaios utilizando-se o Planejamento Experimental, que a configuração do Ensaio 3 (que foi desenvolvida com 0,8g de KOH, 13 mL de metanol e 40 min de aquecimento) foi a que apresentou rendimento ótimo de 98,76%. Entretanto, em virtude do coeficiente de

variação alto apresentado no rendimento entre os ensaios, é necessário que tais ensaios sejam refeitos para avaliar a veracidade da configuração ótima.

No estudo dos fatores, chegou-se à conclusão de que os experimentos não obtiveram fatores significativos, tanto univariada e multivariada, pois não atingiram o nível de confiança de 95%. Estima-se que algumas condições extrínsecas foram responsáveis pelo alto desvio padrão apresentado em alguns ensaios, como o aquecimento demasiado por parte do agitador magnético com aquecedor, que estava descalibrado, assim como, a temperatura de dentro do laboratório, que muitas vezes, não era controlada. Também, menciona-se o fator intrínseco temperatura de solidificação do sebo, que influenciou na perda de massa, ao se impregnar nas paredes das vidrarias usadas.

Com a chegada da pandemia causada pelo Covid-19, os trabalhos laboratoriais tiveram que ser suspensos por motivos de biossegurança, assim, a caracterização físico-química do biodiesel obtido não foi realizada e, portanto, demonstra que esse trabalho ainda deve ser continuado, para a finalização das análises propostas, dada a relevância do assunto.

Como sugestão de futuros trabalhos em continuação ao tema estudado, listam-se o reaproveitamento da glicerina, o estudo dos fatores pela transesterificação com a rota etílica, utilizando-se o banho de ultrassom e o estudo dos fatores pela metodologia superfície de resposta. Além de caracterizações físico-química do biodiesel obtido pela rota metílica do processo de transesterificação com ultrassom, tais como índice de acidez, ponto de fulgor, densidade, poder calorífico, índice de saponificação, índice de peróxido, índice de iodo, viscosidade cinemática, ponto de névoa, ponto de fluidez e massa específica.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, V. F. de. *et al.* Biodiesel production from mixtures of waste fish oil, palm oil and waste frying oil: Optimization of fuel properties. **Fuel Processing Technology**, v.133, p.152-160. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.01.041>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378382015000636>. Acessado em: 22 mar. 2021.

ANP, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Combustíveis. **Mistura de biodiesel ao diesel passa a ser de 13% a partir de hoje (1/3)**. Brasília, DF, 01 mar. 2021. Portal: gov. br. Disponível em: [https://www.gov.br/anp/pt-br/canais_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/mistura-de-biodiesel-ao-diesel-passa-a-ser-de-13-a-partir-de-hoje-1-3#:~:text=\(1%2F3\)-,Mistura%20de%20biodiesel%20ao%20diesel%20passa%20a%20ser%20de%2013,de%20hoje%20\(1%2F3\)&text=A%20partir%20de%20hoje%20\(1%2F3\)%2C%20o%20diesel,vigor%20desde%20mar%C3%A7o%20de%202020](https://www.gov.br/anp/pt-br/canais_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/mistura-de-biodiesel-ao-diesel-passa-a-ser-de-13-a-partir-de-hoje-1-3#:~:text=(1%2F3)-,Mistura%20de%20biodiesel%20ao%20diesel%20passa%20a%20ser%20de%2013,de%20hoje%20(1%2F3)&text=A%20partir%20de%20hoje%20(1%2F3)%2C%20o%20diesel,vigor%20desde%20mar%C3%A7o%20de%202020). Acessado em: 05 fev. 2021.

ANP, Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução nº 798, de 1º de agosto de 2019**; 2019. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n-798-de-1-de-agosto-de-2019-208544998>. Acessado em: 14 out. 2021.

ANP, Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução nº 7, de 19 de março de 2008**; 2012. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=109704>. Acesso em: 01 fev. 2021.

ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Informações de Mercado – Biodiesel**; 2021. Disponível em <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-debiocombustiveis/biodiesel/biodiesel/informacoes-de-mercado>. Acessado em: 18. fev. 2021.

ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Lei nº 482, de 23 de setembro de 1999. Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Óleos e Gorduras Vegetais**. Brasília, 23 set. 1999. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RES_482_1999_COMP.pdf/0b31ce35-6d43-42d6-8184-549de494987a?version=1.0. Acesso em: 10 abr. 2019.

ARRUDA, A. P. et al. Planejamento fatorial para otimização das condições da reação de transesterificação alcalina do óleo de pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess). **ENGEVISTA**, v.19, n.1, p. 132-145, jan. 2017.

ASTM, American Society for Testing and Materials. **Parecer Técnico, D 664 – 01**. Standart Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titratium. British Standard, 2010. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/360737087/Norma-ASTM-D-664>. Acesso em: 20, fev. 2021.

BARNWAL, B. K.; SHARMA, M. P. Prospects of Biodiesel Production from Vegetable Oils in India. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.9, n.4, p.363-378, 2005. DOI: 10.1016/j.rser.2004.05.007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403210400067X>. Acessado em: 29 set. 2021.

BARROS, T. D.; JARDINE, J. G. **Gordura animal**. Brasília, 08 dezembro, 2021. Portal: Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/biodiesel/materias-primas/gordura-animal>. Acessado em 02 nov.2021.

_____. **Transesterificação**. Brasília, [201-?] Portal: Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fj0847od02wyiv802hvm3juldruvi.html>. Acessado em: 29 jun. 2021.

BRASIL, Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. **Diário Oficial da União**, seção 3, p.18. Brasília, DF, 14 jan. 2005.

BRASIL, Resolução nº 16, de 06 de agosto de 2021. Estabelece como de interesse da Política Energética Nacional a redução do teor de mistura obrigatória do biodiesel no óleo diesel fóssil de 13% (treze por cento) para 10% (dez por cento), no 82º Leilão de Biodiesel. **Diário Oficial da União**, seção 1, p. 2, Brasília, DF, 13 set. 2021.

BIODIESELBR. **Química**: Sabões e acidez no biodiesel. Brasil, 12 nov. 2007. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/revista/013/por-dentro-da-materia-prima-3>. Acessado em: 23 out. 2021.

CHITARRA, G. S. **Aplicação do método da sonoquímica na avaliação de degradabilidade de polímeros**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2013.

COBUS, D.; PRADO, G. G. do. **Produção de biodiesel por transesterificação utilizando banho ultrassônico**. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Bacharel em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12166/1/PG_COENQ_2018_2_02.pdf. Acessado em: 20 fev. 2021.

COSTA NETO, P. R. *et al.* Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Química Nova**, v.23, n.4, p.531-534. 2000. Disponível em: http://static.sites.sbq.org.br/quimicanova.sbq.org.br/pdf/Vol23No4_531_v23_n4_%2816%29.pdf. Acessado em: 29 jan. 2021.

DABDOUB, M. J.; BRONZEL, J. L.; RAMPIN, M. A. Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. **Química Nova**, v.32, n.3, p.776-779. 2009. DOI:

<https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000300021>. Disponível em:
https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000300021. Acesso em: 02 fev. 2021.

DAMBISKI, L. **Síntese De Biodiesel De Óleo De Nabo Forrageiro Empregando Metanol Supercrítico**. 2007, 94f. (Mestrado) - Pós- Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em:
http://files.oengenheiro.webnode.com.br/200000283-1c5681fc2c/Dissertacao_Lorena_Dambiski.pdf. Acessado em: 10 mar. 2021.

JORNAL DIÁRIO DO ESTADO, **Goiás está entre os principais produtores de biodiesel no país**. Goiás, 2021. Disponível em: <https://diariodoestado.go.com.br/goias-esta-entre-os-principais-produtores-de-biodiesel-no-pais-125832/>. Acessado em 25. jan.2022.

DIN, DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG - DIN 51606 - **Liquid fuels** - Diesel fuel of fatty acid methylester (FAME) – Specifications.

ENCARNAÇÃO, A. P. G. **Geração de biodiesel pelos processos de transesterificação e hidroesterificação, uma avaliação econômica**. 2008. Trabalho de conclusão de curso (Mestrado) - Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em:
<http://www.tpqb.eq.ufrj.br/download/biodiesel-via-trans-e-hidroesterificacao.pdf>. Acessado em: 17 mar. 2021.

EPA, ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions, **Draft Technical Report**, EPA420-P-02001,(2002).

FONTES, M. M. de. **Otimização da síntese de biodiesel a partir do óleo das sementes de algodoeiro**. Orientador: José Germano Vêras Neto. 2012. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2012. Disponível em: https://pos-graduacao.uepb.edu.br/ppgca/download/outros_documentos/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20-%20MARCELO%20MARQUES%20DE%20FONTES%20-%202012.pdf. Acessado em: 17 dez. 2021.

GERIS, R. *et al.* Biodiesel de soja: reação de transesterificação para aulas práticas de química orgânica. **Química Nova**. Salvador, v.30, n.5, p.1369-1373, 14 mai. 2007. DOI: 10.1590/S0100-40422007000500053. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/qn/a/5RCVpxvN94V8bFnpv8sJSLJ/?format=pdf&lang=pt>. Acessado em: 05 jul. 2021.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GUARIEIRO, L. L. N.; VASCONCELLOS, P. C.; SOLCI, M. C. Poluentes Atmosféricos Provenientes da Queima de Combustíveis Fósseis e Biocombustíveis: Uma Breve Revisão. **Revista Virtual de Química**. Salvador, BA, v.3, n.5, p.434-445, 16 nov. 2011. DOI: 10.5935/1984-6835.20110047. Disponível em:

<http://repositoriosenaiba.fieb.org.br/bitstream/fieb/392/1/Poluentes%20atmosf%C3%A9ricos%20...pdf>. Acessado em: 28 nov. 2021.

HUANG, Y. P.; CHANG, J. I. Biodiesel Production from Residual Oils Recovered from Spent Bleaching Earth. **Renewable Energy**. v.35, n.1, p.269-274. 2010. DOI: 10.1016/j.renene.2009.07.014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/232406839_Biodiesel_production_from_residual_oils_recovered_from_spent_bleaching_earth. Acessado em 04 mar. 2021.

JEONG, G. T; YANG, H. S; PARK, D. H. Optimization of transesterification of animal fat ester using response surface methodology. **Bioresource Technology**. v.100, p. 25–30, 2009.

KNOTHE, G. *et al.* **Manuel de Biodiesel**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2006.

KRAHL, J. *et al.* Comparison of exhaust emissions and their mutagenicity from the combustion of biodiesel, vegetable oil, gas-to-liquid and petrodiesel fuels. **Fuel**, v.88, n.6, p.1064-1069. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.11.015>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236108004687>. Acessado em: 01 mar. 2021.

KRAUSE, L. C. **Desenvolvimento do Processo de Produção de Biodiesel de Origem Animal**. 2008. Trabalho de conclusão de curso (Doutorado). - Pós- Graduação em Química, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/14362>. Acessado em: 20 mar. 2021.

LANG, X. *et al.* Preparation and characterization of bio-diesels from various bio-oils. **Bioresource Technology**, v.80, n.1, p.53-62. 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00051-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00051-7). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852401000517>. Acessado em: 10 mar. 2021.

LEUNG, D.Y.C.; KOO, B.C.P.; GUO, Y. Degradation of biodiesel under different storage conditions. **Bioresource Technology**. vol, 97.p.250-256. 2006.

LEUNG, D. Y. C.; WU, X.; LEUNG, M. K. H. A review on biodiesel production using catalyzed transesterification, **Applied Energy**, v.87, n.4, p.1083–1095, 2010. DOI: 10.1016/j.apenergy.2009.10.006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261909004346>. Acessado em: 08 set. 2021.

LEVY, G. **A inserção do sebo bovino na indústria brasileira de biodiesel: análise sob a ótica da economia dos custos de mensuração**. Orientadora: Prof^a. Dr^a. Márcia Azanha Ferraz Dias de Moraes. 2011. 118f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-07022012-085502/publico/Gabriel_Levy.pdf. Acessado em: nov. 2021.

LIMA FILHO, L. R. *et al.* Revisão: Biodiesel – emitidos, produção e sua influência na matriz

energética brasileira. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DE SERGIPE, 9., 2017, Sergipe. **Anais do IX Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe**. Sergipe: Repositório Institucional da Universidade Federal de Sergipe, 2017. p.559-557. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/197138144.pdf>. Acessado em: 30 set. 2021.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. da. **Biodiesel**: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**. v. 32, n.6, p. 1596-1608, 14 jul. 2009.

MAPA. Ministério da Cultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução de Trabalho: Determinação do Índice de Peróxidos em Óleos Vegetais**. Código: IT POV 035, 2.rev. 05 nov. 2012.

MAPA. Ministério da Cultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Agroenergia**. Brasília, DF, 1. rev. 2005. Disponível em: <http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/cana/AGROENERGIA.pdf>. Acessado em: 03 fev. 2021.

MARQUES, A. L. B. **Reação de transesterificação de triacilgliceróis (triglicerídeos), onde R representa a cadeia carbônica dos ácidos graxos**. [S. l.], fev. 2012. Portal: ResearchGate. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Reacao-de-transesterificacao-de-triacilgliceróis-triglicerídeos-onde-R_fig1_277029386. Acessado em: 14 mar. 2021.

MENEGHETTI, S. M. P.; MENEGHETTI, M. R.; BRITO, Y.C. A Reação de Transesterificação, Algumas Aplicações e Obtenção de Biodiesel. **Revista Virtual de Química**. Maceió, v.5, n.1, p. 63-73, 17 jan. 2013.

MORENO, G. M. B; LOUREIRO, C. M. B.; SOUZA, H. B. A. Características qualitativas da carne bovina. **Revista Nacional da Carne**, São Paulo, n.381, p.76-90, 2008.

OLIVEIRA, D. S. Obtenção do biodiesel através da transesterificação do óleo de Moringa Oleífera Lam. **HOLOS**. Mossoró, RN, 2012, v.1, n.28, p. 2-13, mar. 2012.

OLIVEIRA, M. M. D. de. *et al.* **Cidadania, Meio Ambiente e Sustentabilidade**. 1. ed. Caxias do Sul, RS: Educs, 2017. Disponível em: https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/ebook-cidadania-meioamb_3.pdf. Acessado em: 28 fev. 2021.

PIETRE, M. K. de. **Produção de biodiesel usando catalisadores homogêneos e heterogêneos ácidos e básicos**. Orientador: Fernando José Luna de Oliveira. 2006. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, Campos dos Goyatacazes, 2006. Disponível em: https://ead.uenf.br/moodle/pluginfile.php/9398/mod_resource/content/1/MENDELSSON.pdf. Acessado em: 01 dez. 2021.

PINHEIRO, J. F. **Otimização Multivariada do Rendimento da Síntese de Biodiesel de Babaçu**. Orientador: Alex Oliveira Barradas Filho. 2018. 78f. Monografia (Bacharel em Química) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018. Disponível em: <https://monografias.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/2172/1/JeizaPinheiro.pdf>. Acessado em: 20 nov. 2021.

POPIOLSKI, S. A. **Otimização do Processo de Produção Enzimática de Biodiesel em Sistema Livre de Solvente em Banho de Ultrassom**. 2011. Trabalho de Conclusão de curso (Mestrado) - Pós-Graduação Em Engenharia De Alimentos, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2011. Disponível em: http://www.uri.com.br/cursos/arq_trabalhos_usuario/2141.pdf. Acessado em: 01 mar. 2021.

QUESSADA, T. P. *et al.* Obtenção de biodiesel a partir de óleo de soja e milho utilizando catalisadores básicos e catalisador ácido, **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, 2010, v.6, n.11, p.1-25, 2010.

RAMOS, L. P. *et al.* Biodiesel: Um Projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. **Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, v.31, p.28-37. 2003. Disponível em: http://www.geocities.ws/bueno_reis/biodiesel.pdf. Acessado em: 25 fev. 2021.

REIS, M. C. *et al.* Produção de biodiesel a partir de ácidos graxos provenientes do refino de óleos vegetais via catálise ácida heterogênea e microondas. **Química Nova**, v.38, n.10, p.1307-1312, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20150163>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422015001001307. Acessado em: 20 fev. 2021.

RIBAS, W. F. *et al.* Influência do combustível (diesel e biodiesel) e das características da frota de veículos do transporte coletivo de Curitiba, Paraná, nas emissões de NOx. **Eng Sanit Ambient**. Curitiba, PR, v.21, n.3, p. 437-445, jul/set 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/5x4qtPPGNXtry48x9GWqtqP/?format=pdf&lang=pt>. Acessado em: 27 dez. 2021.

SANTOS, A. G. D. **Avaliação da estabilidade térmica do biodiesel de algodão, girassol, dendê e sebo bovino**. 2010. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/17619/1/AnneGDS DISSERT.pdf> . Acessado em: 11.08.2021.

SALVADOR, P. M. *et al.* Estudo de diferentes catalisadores para produção de biodiesel: viabilidade dos catalisadores heterogêneos. **Bioenergia em revista: diálogos**, v.6, n.2, p. 31-46, jul./dez. 2016

SBRT. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas. **Dossiê técnico: Biodiesel**. 2021. Disponível em: <http://sbrt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MzA0>. Acessado em: 25 out. 2021.

SEAPA. Secretária de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Goiás possui 2º maior rebanho bovino do Brasil**: Estado responde por 10,6% da criação nacional, observando crescimento, ainda, na produção de galináceos e ovos de galinha. Goiás, 15 out. 2020. Portal. Disponível em: <https://www.agricultura.go.gov.br/comunica%C3%A7%C3%A3o/not%C3%ADcias/3489-goi%C3%A1s-possui-2%C2%BA-maior-rebanho-bovino-do->

[brasil.html#:~:text=Segundo%20a%20Pesquisa%20da%20Pecu%C3%A1ria,22.785.151%20cabe%C3%A7as%20em%202019.](#) Acessado em: 12 mar. 2021.

SERRA, T.M. **Desenvolvimento de catalisadores a base de estanho (Iv), para produção de ésteres metílicos de ácidos graxos, via transesterificação e esterificação.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Acadêmica Centro de Tecnologia-UFAL, Maceió, 2010.

SHARMA, B. K.; DOLL, K. M.; ERHAN, S. Z. Ester hydroxy derivatives of methyl oleate: Tribological, oxidation and low temperature properties. **Bioresource Technology**, v.99, n.15, p.7333-7340. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.057>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852407010905>. Acessado em: 13 mar. 2021.

SILVA, J. P. da. **Estudo da minimização de sabão na produção de biodiesel por via etanólica e automatização de baixo custo em uma coluna de destilação reativa.** Prof. Dr. José Marcos Francisco da Silva. 2018. 175 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/32835/1/TESE%20Josivan%20Pedro%20da%20Silva.pdf>. Acessado em: ago. 2021.

SILVA, M. do S. B. da. *et al.* Planejamento experimental para análise de parâmetros utilizados na injeção de polímeros em reservatório de petróleo. In: Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 1., 2014, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: 27 nov.2014. p. 1-9. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conepetro/2015/Modalidade_4datahora_27_11_2014_00_17_09_idinscrito_16_299be37232c257ab6d87bcd854b853e.pdf. Acessado em: 22 ago.2021.

SILVA, T. A. R. da. **Biodiesel de óleo residual: produção através da transesterificação por metanólise e etanólise básica, caracterização físico-química e otimização das condições reacionais.** 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Doutorado) - Programa Multi-institucional de Doutorado em Química da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/17506>. Acessado em: 20 mar. 2021.

SILVA, T. A. R. da; BORGES NETO, W. Estudo da redução do óleo residual para a produção de biodiesel utilizando planejamento fatorial fracionado. **Revista Virtual de Química.**, v.5, n.5, p.828-839. 2013. DOI: [10.5935/1984-6835.20130060](https://doi.org/10.5935/1984-6835.20130060), Disponível em: <http://rvq-sub.s bq.org.br/index.php/rvq/article/view/334>. Acessado em: 03 fev. 2021.

STATSOFT, **Statistica 7.0.** Disponível em: <https://statistica.software.informer.com/7.0/>. Acesso em: 26 jun. 2021.

VARÃO, L. H. R. *et al.* Vantagens e limitações do sebo bovino enquanto matéria-prima para a indústria brasileira de biodiesel. **HOLOS**, Uberlândia, 2017, v.7, n. 33, p. 39-54, out. 2017. DOI: [10.15628/holos.2017.5010](https://doi.org/10.15628/holos.2017.5010).

VIDAL, F. Produção e Mercado de Etanol. **Caderno Setorial ETENE**, [s.l.], ano 5, n.121, p.1-10, jul. 2020.

VIEIRA, S. S. **Produção de biodiesel via esterificação de ácidos graxos livres utilizando catalisadores heterogêneos ácidos**. Orientadora: Dra. Zuy Maria Magriotes. 2011. 118 f. Dissertação (Mestrado) – Pós- Graduação em Agroquímica, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011. Disponível em: http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/2525/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20biodiesel%20via%20esterifica%C3%A7%C3%A3o%20de%20%C3%A1cidos%20graxos%20livres%20utilizando%20catalisadores%20heterog%C3%AAneos%20%C3%A1cidos.pdf . Acessado em: 09 set. 2021.

WANG, R. H. *et al.* Optimization of Innovative Ethanol Production from Wheat by Response Surface Methodology. **Process Safety and Environmental Protection**, v.85, n.5, p.404-412. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1205/psep07023>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582007714428>. Acessado em: 10 fev. 2021.