



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

SARA RAFAELA OLIVEIRA NUNES

**OBTENÇÃO DE BIODIESEL E TESTE DE CONSUMO EM MOTOR A
DIESEL UTILIZANDO O SEBO BOVINO COMO MATÉRIA-PRIMA**

CARAÚBAS – RN

2021

SARA RAFAELA OLIVEIRA NUNES

**OBTENÇÃO DE BIODIESEL E TESTE DE CONSUMO EM MOTOR A
DIESEL UTILIZANDO O SEBO BOVINO COMO MATÉRIA-PRIMA**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA),
como exigência final para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia
Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Rudson de Souza
Lima

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Freitas
Freire Martins

CARAÚBAS – RN

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

N972o Nunes, Sara Rafaela Oliveira .
OBTENÇÃO DE BIODIESEL E TESTE DE CONSUMO EM
MOTOR A DIESEL UTILIZANDO O SEBO BOVINO COMO
MATÉRIA-PRIMA / Sara Rafaela Oliveira Nunes. -
2021.
54 f. : il.

Orientador: Rudson de Souza Lima.
Coorientador: Daniel Freitas Freire Martins.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2021.

1. Motor de Combustão Interna. 2. Biodiesel.
3. Sebo bovino. I. Lima, Rudson de Souza, orient.
II. Martins, Daniel Freitas Freire, co-orient.
III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

SARA RAFAELA OLIVEIRA NUNES

**OBTENÇÃO DE BIODIESEL E TESTE DE CONSUMO EM MOTOR A
DIESEL UTILIZANDO O SEBO BOVINO COMO MATÉRIA-PRIMA**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA),
como exigência final para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia
Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Rudson de Souza
Lima

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Freitas
Freire Martins

Defendido em: 19/11/2021

**Rudson de
Souza Lima**

Assinado de forma digital por
Rudson de Souza Lima
Dados: 2021.11.25 20:49:18
-03'00'

Prof. Dr. Rudson de Souza Lima
Orientador

**DANIEL FREITAS FREIRE
MARTINS:05305550424**

Assinado de forma digital por DANIEL
FREITAS FREIRE MARTINS:05305550424
Dados: 2021.11.26 08:11:36 -03'00'

Prof. Dr. Daniel Freitas Freire Martins
Coorientador

**RAFAEL LUZ
ESPINDOLA:06083238455**

Assinado de forma digital por RAFAEL
LUZ ESPINDOLA:06083238455
Dados: 2021.11.25 21:24:13 -03'00'

Prof. Dr. Rafael Luz Espindola
Examinador

**ITALLA MEDEIROS
BEZERRA:06160420437**

Assinado de forma digital por
ITALLA MEDEIROS
BEZERRA:06160420437
Dados: 2021.11.26 13:09:50 -03'00'

Prof. Dr. Italla Medeiros Bezerra
Examinador

A meu pai, Alciberg Nunes e a minha
mãe, Zilda Oliveira. As duas pessoas que
mais admiro, respeito e amo.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é resultado de muito esforço, persistência e apoio de muitas pessoas que acreditaram no meu potencial. Cada parte deste trabalho será dedicado a todos que estão ao meu lado.

Agradeço primeiramente à Deus, por sempre me dar saúde física e mental, fatores primordiais para a conclusão deste curso, também agradeço a ele por colocar em minha trajetória pessoas que me possibilitaram e me motivaram a chegar onde estou.

Ao meu amado pai Alciberg e a minha amada mãe Zilda que sempre se fizeram presente mesmo com a distância, me apoiando nas dificuldades e confiando sempre no meu potencial. Me incentivando a nunca desistir dos meus objetivos.

Aos meus avós e tios por todo cuidado e carinho, proporcionando sempre o melhor para mim e para os meus irmãos.

Ao meu querido orientador Rudson e meu coorientador Daniel, excelentes mestres que me proporcionaram muitos conhecimentos.

Aos meus amigos Letícia, Sheila, Renata, Vanessa, Jocélia, Gabriela, Josemar, Karol, Pepeu pelas conversas, pela companhia e por estarem sempre presentes na minha vida.

E, por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram com este trabalho, acreditaram em meu potencial e torceram pelo meu sucesso.

Muito obrigada!

RESUMO

O aumento da demanda energética, a escassez dos combustíveis fósseis e problemas ambientais impulsionaram a busca por combustíveis gerados a partir de fontes renováveis que possam substituir os derivados do petróleo no mundo inteiro. Dentre os biocombustíveis em ascensão, o biodiesel desponta como uma ótima alternativa de substituição parcial ou total do diesel fóssil em motores ciclo diesel. No Brasil, conforme a Lei nº 11.097 todo biodiesel vendido no país deve ser constituído pela mistura óleo diesel/biodiesel, denominado BX, de acordo com as especificações da Agência Nacional do Petróleo (ANP). Esse trabalho tem como objetivo verificar o consumo e desempenho de um motor ciclo diesel da fabricante Bounous modelo 13 DBT, utilizando as concentrações B10 (correspondente ao diesel comercial puro), B25, B60 e B100 (correspondente ao biodiesel puro) e estabelecer comparações. O biocombustível foi produzido a partir do sebo bovino, subproduto gerado por intermédio do abate de animais, por meio de uma reação de transesterificação por rota etílica e submetido a caracterizações físico-químicas que comprovaram que o biodiesel produzido neste trabalho se encontra dentro dos parâmetros estabelecidos pela ANP. Os testes no motor mostraram que conforme havia um aumento na proporção de biodiesel, o consumo também aumentava constatado pelo biodiesel puro B100 que apresentou um 15 g/min de consumo médio na faixa de estabilidade do motor. Entretanto, o motor apresentou bom funcionamento sem nenhuma anormalidade e os gases do escapamento apresentaram coloração branca quando comparado com a queima do diesel comercial puro.

Palavras-Chave: Motor ciclo diesel. Biocombustíveis. Sebo bovino.

ABSTRACT

The increase in energy demand, the scarcity of fossil fuels and environmental problems have driven the search for fuels generated from renewable sources that can replace petroleum derivatives worldwide. Among the rising biofuels, biodiesel stands out as an excellent alternative for partial or total replacement of fossil diesel in diesel cycle engines. In Brazil, according to Law No. 11,097, all biodiesel sold in the country must be made up of a diesel/biodiesel mixture, called BX, in accordance with the specifications of the National Petroleum Agency (ANP). This work aims to verify the consumption and performance of a diesel cycle engine manufactured by Bounous model 13 DBT, using concentrations B10 (corresponding to pure commercial diesel), B25, B60 and B100 (corresponding to pure biodiesel) and to establish comparisons. The biofuel was produced from bovine tallow, a by-product generated through the slaughter of animals, through a transesterification reaction by ethyl route and submitted to physical-chemical characterizations that proved that the biodiesel produced in this work is within the established parameters by the ANP. The engine tests showed that as there was an increase in the proportion of biodiesel, consumption also increased verified by the pure biodiesel B100 that presented an average consumption of 15 g/min in the range of engine stability. However, the engine performed well without any abnormality and the exhaust gases were white in color when compared to the burning of pure commercial diesel.

Keywords: Diesel cycle engine. Biofuels. Beef tallow.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Composição geral dos motores ciclos Diesel e Otto.....	17
Figura 2: Funcionamento do MCI Diesel de 4 tempos.....	19
Figura 3: Diagrama P-v do ciclo Diesel.	19
Figura 4: Reação geral da transesterificação.	22
Figura 5: Mecanismo detalhado da reação de transesterificação.	23
Figura 6: Sebo bovino após o abate de animais.....	25
Figura 7: Matadouro Municipal onde foi coletado a matéria-prima	28
Figura 8: a) Sebo triturado; b) Processo de derretimento do sebo no bico de Busen; c) filtragem do sebo.	29
Figura 9: Sistema utilizado para a reação de transesterificação	30
Figura 10: Separação de fases após a reação de transesterificação.	30
Figura 11: Motor utilizado para a realização dos ensaios.	34
Figura 12: Sistema de conexões, adaptadores e registros.....	35
Figura 13: Processo de medição de consumo de combustível.....	36
Figura 14: Termograma do sebo bovino.....	39
Figura 15: Termograma do biodiesel de sebo bovino.	40
Figura 16: Gráfico de consumo do diesel comercial S500.....	42
Figura 17: Gráfico de consumo da mistura B25.....	42
Figura 18: Gráfico de consumo da mistura B60.....	43
Figura 19: Gráfico de consumo da mistura B100.....	44
Figura 20: Comparativo do consumo médio entre as misturas no intervalo de 50 e 110 segundos.	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MCI – Motores de Combustão Interna

PMI – Ponto Morto Inferior

PMS – Ponto Morto Superior

PNPB – Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

CO₂ – Dióxido de Carbono

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM – Sociedade Americana de Testes de Materiais

ISO – International Organization for Standardization

CEN – Comité Europeu de Normalização

HCl – Ácido clorídrico

NaOH – Hidróxido de sódio

KOH – Hidróxido de potássio

AGL – Ácidos Graxos Livres

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de referência da composição dos ácidos graxos do sebo bovino.	25
Tabela 2: Reagentes utilizados nas análises e seus respectivos fabricantes.	27
Tabela 3: Equipamentos utilizados para a realização das análises.	27
Tabela 4: – Propriedades físico-químicas obtidas para o sebo bovino.	37
Tabela 5: Propriedades físico-químicas do biodiesel produzido comparadas com a ANP.	38
Tabela 6: Dados Termogravimétricos (TG/DTG) para o sebo bovino e biodiesel.	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS.....	16
1.1.1	Objetivo geral.....	16
1.1.2	Objetivos específicos	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	17
2.2	MOTORES CICLO DIESEL	18
2.2.1	Ciclos termodinâmicos – ciclo diesel	18
2.3	COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS x BIOCOMBUSTÍVEIS.....	20
2.4	BIODIESEL	21
2.4.1	Processo de transesterificação	22
2.4.2	PNPB: Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel	24
2.5	SEBO BOVINO COMO MATÉRIA-PRIMA	24
3	METODOLOGIA	27
3.1	MATERIAIS	27
3.2	MÉTODOS.....	28
3.2.1	Obtenção da matéria-prima: o sebo bovino	28
3.2.2	Produção do biodiesel.....	28
3.2.3	Caracterização físico-química do biodiesel	31
3.2.4	Teste de desempenho no motor.....	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA MATÉRIA-PRIMA E DO BIODIESEL	37
4.2	ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA DO SEBO BOVINO E DO BIODIESEL	39
4.3	TESTES DE DESEMPENHO NO MOTOR	41

4.3.1	Diesel Comercial S500	41
4.3.2	Mistura B25	42
4.3.3	Mistura B60	43
4.3.4	Mistura B100	44
4.3.5	Abordagem geral.....	44
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

É sabido que a matriz energética mundial é apoiada, em sua grande maioria, nos combustíveis fósseis. Entretanto, pode-se listar inúmeros problemas atrelados ao uso desses combustíveis, destacando-se a potencialização do efeito estufa, aumento dos níveis de poluição e, por ser um recurso não renovável, possível escassez dessas fontes devido ao aumento da demanda energética.

O desenvolvimento de combustíveis alternativos utilizando recursos renováveis se mostra em alta nas pesquisas em todo o mundo visando a diminuição da dependência pelos combustíveis derivados do petróleo. Estes combustíveis alternativos, também chamados de biocombustíveis, adotam como fatores principais fontes limpas, baratas e que supram as necessidades exigidas pelo crescimento energético global.

Diante de várias possibilidades, o biodiesel se destaca como alternativa para substituir os combustíveis fósseis. Definido conforme a Lei Federal nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005 inciso XXV como: “[...] biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores de combustão interna ou, conforme regulamento, para outro tipo de geração de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil” (BRASIL, 2005). Esta mesma lei estabelece uma mistura de diesel fóssil/biodiesel – BX – para todo biodiesel vendido no Brasil, estabelecida conforme especificações da ANP.

De acordo com os dados da Resenha Energética Brasileira de 2020, constatados pela Empresa de Pesquisa Energética em coordenação juntamente com a ANP, o Brasil mantém a liderança na produção de biodiesel em sua matriz energética (CANTO, 2021) apresentando boas condições para a produção e uma alta gama de matérias-primas (mamona, soja, palma, milho, resíduos de frituras, sebo bovino, entre outros).

O sebo bovino, insumo resultante do abate e outros resíduos sólidos de animais ruminantes, tem mostrado um bom potencial para a produção de biodiesel. Segundo a ANP (2005), a fabricação de biodiesel utilizando o sebo como matéria-prima teve um aumento atingindo, aproximadamente, 20% do biodiesel produzido no país. Estudos relatam as vantagens da utilização deste insumo para a produção de biocombustíveis, são elas: geração de renda aos pequenos e grandes agricultores, a não concorrência com outros setores de mercado e, destacando o fator ambiental, a designação de um destino adequado para que os resíduos não sejam despejados em lixões, rios e córregos ocasionando sérios problemas ao meio ambiente.

Segundo Graxaria (2019), a oferta deste produto no Brasil é de aproximadamente 1,2 milhão de toneladas por ano, quantidade satisfatória para utilizar este insumo como fonte para a produção de biodiesel.

Neste contexto, o presente trabalho visa a obtenção e caracterização do biodiesel utilizando o sebo bovino como matéria-prima por meio de uma reação de transesterificação por rota etílica e analisar a viabilidade operacional e o desempenho de um motor de combustão interna utilizando o biodiesel em busca de melhores soluções de aplicações na indústria automobilística.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Produzir e analisar o potencial e qualidade do biodiesel feito com sebo bovino, verificando o efeito deste combustível no desempenho de um motor diesel.

1.1.2 Objetivos específicos

- Coletar o sebo bovino;
- Produzir o biodiesel por meio da reação de transesterificação pela rota etílica;
- Determinar os índices de acidez, teor de umidade, índice de saponificação, ácidos graxos livres, água e sedimentos e densidade do biodiesel e do sebo bovino.
- Obter diferentes composições de biodiesel + diesel comercial com as seguintes proporções: 10% (referente ao diesel comercial puro), 25%, 60% e, por fim, 100% que corresponde ao biodiesel puro;
- Analisar o desempenho do motor utilizando as diferentes composições de misturas, verificando o rendimento e estabelecendo uma comparação com o diesel comercial.

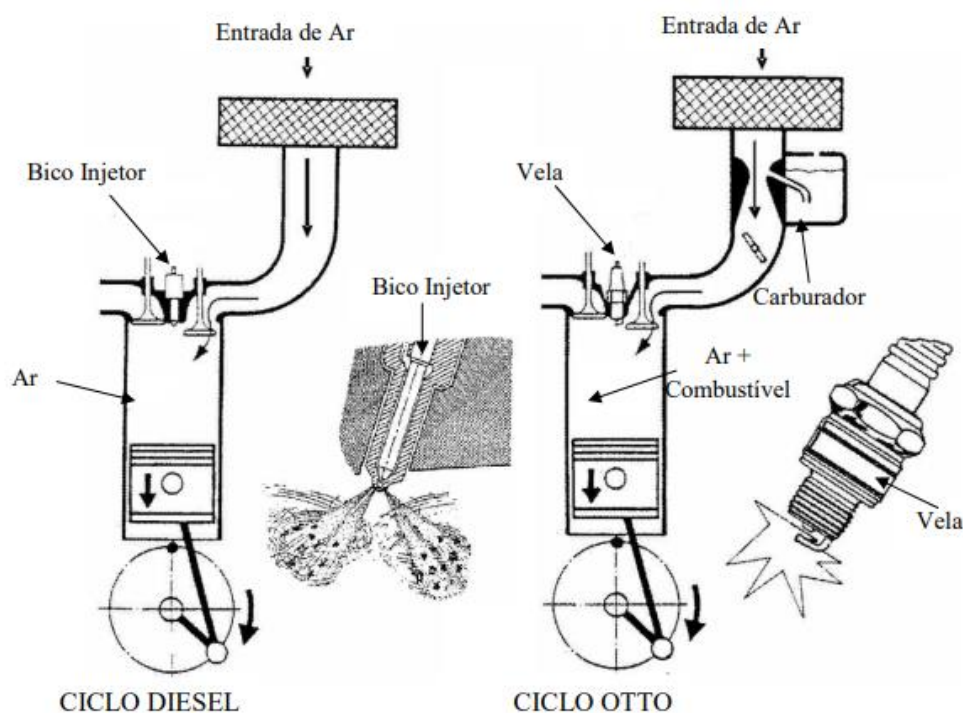
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Considerado o tipo de motor mais comum e que se destaca por elevada obtenção de trabalho e maior eficiência, os motores de combustão interna (MCI) são máquinas térmicas que transformam o calor gerado pela queima da mistura ar-combustível (gasolina ou diesel) em trabalho (SIMÊNCIO, 2019). Segundo Martins (2006) “O MCI aproveita o aumento da pressão resultante da combustão da mistura ar-combustível para imprimir um movimento de rotação ao motor”.

Os primeiros motores de combustão interna datam do século XIX. Em 1876, Nicollas Otto patenteou o motor atualmente conhecido como ciclo Otto e, em 1892, Rodolphe Diesel patenteou o motor de ignição espontânea conhecido como motor Diesel (ROSA, 2014). Esses dois tipos de motores apresentam diferenças no que diz respeito ao ciclo de operação e desenvolvimento da combustão, mas são similares do ponto de vista mecânico. A Figura 1 demonstra os componentes de cada tipo de motor.

Figura 1: Composição geral dos motores ciclos Diesel e Otto.



Fonte: Rosa (2014).

Segundo Menezes (2009), nos motores ciclo Otto ocorre a vaporização da mistura ar-combustível antes de entrar na câmara de combustão e, nos motores ciclo Diesel, apenas o ar é admitido e comprimido a alta pressão e, conseqüentemente, alta temperatura para que após este processo seja introduzido o combustível.

2.2 MOTORES CICLO DIESEL

O primeiro motor a diesel que funcionou de maneira eficiente foi criado por Rudolf Diesel em 1892 (BRITO, 2020). Rudolf tinha o objetivo de criar um motor que utilizasse menor quantidade de combustível para gerar o mesmo trabalho que os demais motores da época. Ao utilizar o conceito de iniciar o processo de combustão através da injeção de combustível em uma câmara com ar aquecido por meio da compressão obteve resultados satisfatórios na qual o motor conseguia atingir uma eficiência duas vezes maior que os demais motores (HERNANDES, 2011).

2.2.1 Ciclos termodinâmicos – ciclo diesel

Os MCI operam por meio dos ciclos termodinâmicos, no qual pode-se distinguir quatro tempos (Figura 2): admissão, compressão, combustão e escape. Como neste trabalho o enfoque é em motores ciclo Diesel, está descrito abaixo os tempos ocorridos no mesmo.

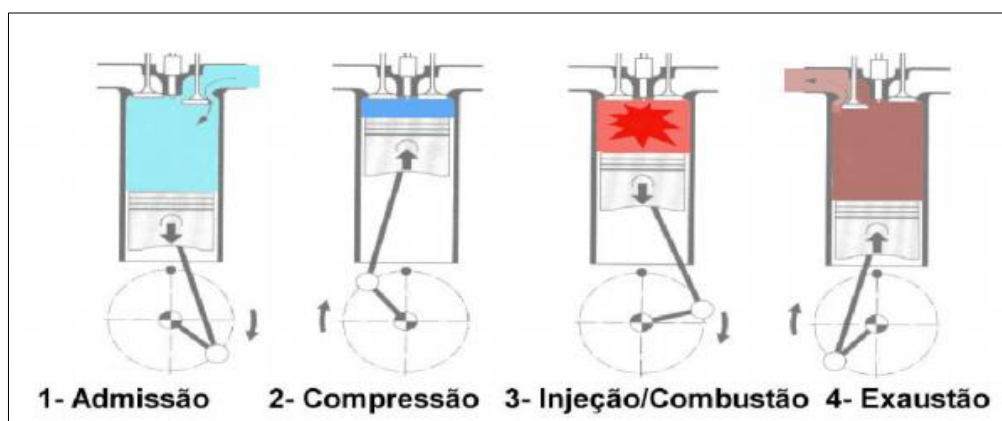
Admissão: A válvula de admissão é aberta, o pistão se desloca ao ponto morto inferior (PMI) admitindo para dentro do cilindro apenas ar.

Compressão: As válvulas são fechadas, o pistão começa a retornar ao ponto morto superior (PMS), ocorre a injeção de combustível sob alta pressão que se mistura com o ar aquecido devido a compressão que o pistão está exercendo e a combustão acontece.

Combustão: A combustão provoca a expansão dos gases que empurram o pistão para o PMI. Essa energia de combustão é transformada em trabalho mecânico e, por fim, a válvula de escape é aberta.

Escape: Ainda com a válvula de escape aberta, o pistão se desloca para o PMS expelindo os gases queimados.

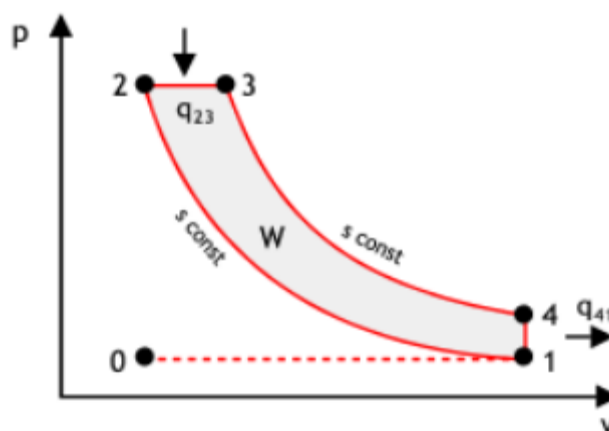
Figura 2: Funcionamento do MCI Diesel de 4 tempos.



Fonte: Brunelli (2009).

Analisando este funcionamento por meio do diagrama pressão (P) – volume (v), teoricamente temos que o ciclo Diesel ocorre da seguinte maneira, conforme mostrado na Figura 3:

Figura 3: Diagrama P-v do ciclo Diesel.



Fonte: Brunelli (2009).

Segundo Connor (2020), existem dois processos isentrópicos (adiabáticos reversíveis), um processo isobárico (pressão constante) e um processo isocórico (volume constante) que são detalhados a seguir:

0-1: o pistão se desloca do PMS ao PMI admitindo ar limpo.

1-2: é o processo de compressão adiabática. O ar aspirado é comprimido conforme a movimentação do pistão do PMI ao PMS. A taxa de compressão pode variar de 14:1 a

25:1, o que gera uma elevação na temperatura do ar podendo ultrapassar 700 °C (BRITO, 2020).

2-3: nesta etapa a pressão constante, o combustível é injetado na câmara de ar. Devido à alta compressão do ar e a injeção do combustível, acontece uma combustão espontânea expandindo os gases dentro do cilindro movendo o pistão novamente para o PMI.

3-4: fase da expansão adiabática. Os gases provenientes da combustão se expandem movendo o pistão para o PMI sem nenhuma troca de calor com as paredes do cilindro.

4-1: processo de volume constante. A válvula de escape é aberta e com isso há uma queda bruta na pressão.

1-0: fase de conclusão do ciclo onde o pistão retorna ao PMS expulsando os gases queimados.

2.3 COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS x BIOCOMBUSTÍVEIS

A necessidade de desenvolver combustíveis e o aumento dos transportes movidos a combustíveis fósseis começou em meados do século XIX, impulsionando o crescimento da indústria petrolífera. Na atualidade, esse recurso ainda tem grande importância na sociedade representando 80% do fornecimento total de energia mundial segundo o balanço da Agência Internacional de Energia (BLOG, 2021).

O petróleo, principal fonte de energia mundial, é constituído de uma mistura complexa de hidrocarbonetos, oriundo da decomposição de substâncias orgânicas primitivas, associados a fenômenos de pressão e temperatura, depositadas no fundo dos mares e oceanos (FERNANDES; SILVA, 2015). Do petróleo derivam vários produtos, como a gasolina, querosene refinado, óleo combustível doméstico e industrial, óleo lubrificante e coque.

A utilização desses combustíveis é um dos principais fatores que afetam o meio ambiente. A emissão dos gases oriundos da combustão destrói a camada de ozônio e acelera os efeitos do aquecimento global, além de contaminar o solo, oceanos e a natureza em geral (HINRICHS et al, 2014).

O fator ambiental e a possível escassez das reservas energéticas de fontes não renováveis, propiciaram o avanço das pesquisas acerca dos biocombustíveis. Provenientes de biomassa renovável, de origem vegetal ou animal, apresentam boa capacidade de substituição parcial ou total dos combustíveis fósseis e promovem a sustentabilidade ambiental.

O Brasil é o país referência em pesquisas e utilização de biocombustíveis. Segundo o Ministério de Minas e energia, a energia renovável atingiu a participação de aproximadamente 46% na matriz energética, sendo 18% de combustíveis alternativos (BRASIL, 2020).

2.4 BIODIESEL

A legislação brasileira define biodiesel conforme a Lei Federal nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005 inciso XXV, como: “[...] biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores de combustão interna ou, conforme regulamento, para outro tipo de geração de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil” (BRASIL, 2005). Quimicamente, pode ser definido como um combustível composto por ésteres alquílicos de ácidos carboxílicos de cadeia longa (TEIXEIRA, 2010) derivados de óleos de origem animal e vegetal.

As pesquisas acerca do biodiesel tomaram uma maior proporção em função dos benefícios associados à utilização deste combustível, como: ser uma fonte renovável de energia (menor emissão de CO₂ e diminuição nos problemas ambientais), uma grande diversidade de matérias-primas existentes, menor toxicidade devido à isenção de enxofre e aromáticos e a biodegradabilidade (FERNANDES JUNIOR et al., 2012).

Com a aprovação da Lei nº 11.097, de 2005, o uso de biodiesel na matriz energética nacional passou a ter metas que se referiam a adição do biodiesel ao diesel convencional (FREITAS, 2016). A lei ditava que de 2005 a 2007 a adição de 2% de biodiesel ao diesel fóssil era facultativa, podendo se tornar obrigatório (o mesmo percentual 2%) no período de 2008 a 2012. Com a publicação da Resolução do CNPE Nº 2/2008, houve uma antecipação no prazo de alteração do percentual na qual ficou estabelecido: a adição de 3% em 2008, aumentando para 4% em 2009 e 5% em 2010 (EMBRAPA, 2010). Desde 1º de novembro de 2014, o diesel comercializado em todo o Brasil aumentou o percentual de mistura de 5% para 7% e, atualmente, 10% conforme aprovação da resolução do CNPE. Estimativas projetam o B20 (adição de 20% de biodiesel ao diesel convencional) até 2030.

Segundo Laurindo (2003), a compatibilidade entre o diesel e o biodiesel indica uma alternativa eficiente para suprir a necessidade existente pela frota de veículos sem precisão de investimentos no aperfeiçoamento de motores. Cabe salientar que a mistura

desses combustíveis fornece uma melhoria na eficiência da combustão e diminui os níveis de ruído (GALLO, 2003).

Atualmente, o biodiesel produzido deve atender às especificações estabelecidas pelo Regulamento Técnico ANP N° 1/2008 das características do biodiesel mediante normas da ABNT, ASTM, ISO e CEN. Tais especificações estão descritas no Anexo 1.

2.4.1 Processo de transesterificação

A reação de transesterificação é, atualmente, o processo mais utilizado para produzir biodiesel e tem o objetivo modificar a estrutura do óleo vegetal ou animal para que coincida com as características físico-químicas do diesel convencional. Segundo Santos (2010), refere-se a um processo reversível de reação de um lipídeo (triglicerídeo) com um mono-alcoól de cadeia curta, na presença de um catalisador (base ou ácido) que resulta na produção de uma mistura de ésteres alquílicos de ácidos graxos e glicerol, conforme ilustra a Figura 4, onde R1, R2 e R3 são cadeias dos ácidos graxos e R4 é o grupo alquí do álcool. Esses produtos devem ser formados pela quebra das moléculas dos triglicerídeos.

Figura 4: Reação geral da transesterificação.

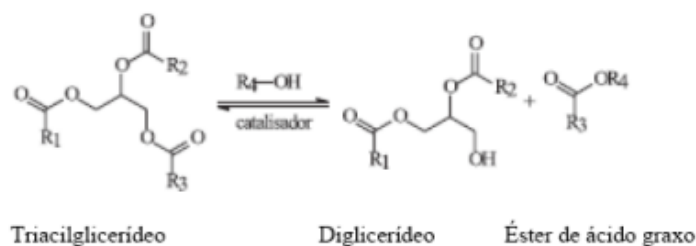


Fonte: Santos (2010).

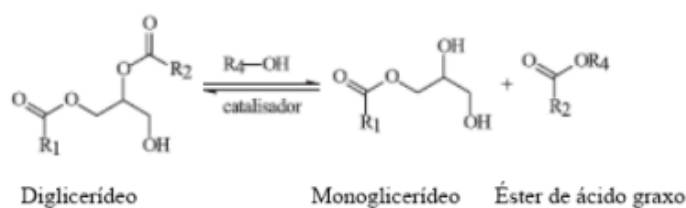
Este processo possui uma sequência de três reações reversíveis e consecutivas que formam monoglicerídeos e diglicerídeos como intermediários da equação (ALVES, 2012). O mecanismo reacional está apresentado na Figura 5.

Figura 5: Mecanismo detalhado da reação de transesterificação.

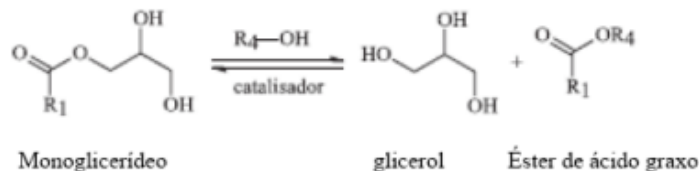
1ª Etapa:



2ª Etapa:



3ª Etapa:



Fonte: Santos (2010).

A transesterificação pode sofrer efeitos de vários fatores ocasionados pelo tipo e proporção de álcool, tipo e proporção de catalisador, agitação, tempo e temperatura (ALVES, 2012). Se tratando do tipo de álcool e da razão molar óleo/álcool, um dos fatores mais importantes para se obter um bom rendimento, a reação exige um excesso de álcool para que possa haver um equilíbrio e o direcionamento da reação para a formação de ésteres e separação de fases (MEHER et al., 2006).

No que se refere ao tipo de catalisador, a transesterificação pode ser feita com catalisadores homogêneos (alcoóxidos, hidróxidos e carbonatos de sódio e potássio) e heterogêneos (argilas, bases orgânicas, complexos metálicos, óxidos, outros). A catálise homogênea, mais utilizada atualmente em processos industriais, é uma reação simples, rápida e eficiente. No entanto, apresenta desvantagem da formação de sabões devido a dificuldade de purificação do produto e possível formação de emulsões que caracteriza o excesso de água e/ou álcool (ALVES, 2012). A catálise heterogênea, ainda em estudo por muitos pesquisadores, possui vantagens devido à simplificação no processo de purificação, já que os catalisadores podem ser facilmente separados, e a não formação de sabões. Mas, o que torna esta catálise pouco utilizada é a formação de três fases no meio

reacional que limita a taxa global de reação e o rendimento (MBARAKA & SHANKS, 2006).

2.4.2 PNPB: Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2021), o PNPB é um programa do governo que tem como objetivo a implementação de forma sustentável da produção e uso do biodiesel, visando a inclusão produtiva no desenvolvimento rural gerando emprego e renda. Este programa tem como principais diretrizes: a garantia de preços mínimos, produzir o biodiesel a partir de diferentes matérias-primas com qualidade e a inclusão produtiva da agricultura familiar.

O PNPB legalizou a base normativa de produção e comercialização do biodiesel no Brasil compreendendo a definição de modelo tributário e o desenvolvimento de mecanismos para inclusão da agricultura familiar (MARTINS; CARNEIRO, 2013). O Decreto Presencial nº 5.297 de dezembro de 2004, concedeu o Selo Combustível Social aos produtores que promovem a inclusão de matérias-primas de agricultores familiares enquadrados no PRONAF – Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar.

2.5 SEBO BOVINO COMO MATÉRIA-PRIMA

O sebo bovino é uma gordura de origem animal, considerado como um subproduto gerado pelo abate nos matadouros (Figura 6). Trata-se de um insumo bastante utilizado na indústria de sabões, cosméticos, tintas, vernizes, fabricação de ração animal, entre outros (VARÃO, SILVA, ZAMORA & PASQUINI, 2017).

Figura 6: Sebo bovino após o abate de animais.



Fonte: O autor.

A composição química deste insumo apresenta uma maior quantidade de ácidos graxos saturados (Vide Tabela 1). De acordo com Santos (2010), a estabilidade à oxidação aumenta com o aumento de compostos saturados no biodiesel. Em contrapartida, há também um aumento no ponto de névoa que pode afetar o desempenho do motor.

Tabela 1: Valores de referência da composição dos ácidos graxos do sebo bovino.

ÁCIDOS GRAXOS	VALORES DE REFERÊNCIA (%)
Ácido Mirístico (C14:0)	1,0 - 6,0
Ácido Palmítico (C16:0)	20,0 – 37,0
Ácido Palmitoleico (C16:1)	1,0 – 9,0
Ácido Margárico (C17:0)	1,0 – 3,0
Ácido Esteárico (C18:0)	25,0 – 40,0
Ácido Oleico (C18:1)	31,0 – 50,0
Ácido Linoleico (C18:2)	1,0 – 5,0

Fonte: Santos (2010).

Este material graxo desperta curiosidade no que se refere a produção de energia, já que dispõe de boa produtividade, baixo custo e, destacando o fator ambiental, evita o

descarte inadequado e sem tratamento em locais como rios e lagos que ocasionam a eutrofização.

Nos dias atuais, o sebo está em ascensão no mercado de biocombustíveis devido ao seu baixo custo associado a um bom rendimento que, de acordo com Levy (2011), pode alcançar 93%. No Brasil, é a terceira maior (7,6%) matéria-prima utilizada para a produção de biocombustível segundo dados da ANP (2021).

3 METODOLOGIA

3.1 MATERIAIS

- Reagentes

Os reagentes utilizados foram de grau analítico e estão listados na Tabela 2. Todas as soluções foram preparadas utilizando água destilada e álcool etílico.

Tabela 2: Reagentes utilizados nas análises e seus respectivos fabricantes.

Item	Reagentes	Fabricantes
1	Álcool etílico 96%	DINÂMICA
2	Hidróxido de sódio	ISO FAR
3	Fenolftaleína	VETEC
4	Biftalato de Potássio	VETEC
5	Hidróxido de potássio	ALPHATEC
6	Ácido clorídrico	QHEMIS
7	Álcool etílico	ITAJÁ
10	Éter etílico	VETEC

- Equipamentos

Todos os equipamentos utilizados neste trabalho estão listados na Tabela 3, seguidos pela marca e modelo, respectivamente.

Tabela 3: Equipamentos utilizados para a realização das análises.

Item	Equipamento	Marca/Modelo
1	Agitador magnético	FISATOM
2	Balança analítica	SHIMADZU
3	Estufa de secagem e esterilização	SOLAB
4	Bico de Busen	-
5	Capela de exaustão	-
6	Motor de combustão interna	BOUNOUS

3.2 MÉTODOS

Toda a metodologia experimental realizada com a matéria-prima, as amostras sintetizadas e as misturas realizadas seguem descritas neste tópico.

3.2.1 Obtenção da matéria-prima: o sebo bovino

A coleta do material foi feita no matadouro público Francisco Simião da Silva (Ver Figura 7), localizado na cidade de Caraúbas/RN. Foram coletados aproximadamente 10 kg de sebo, armazenados em saco plástico devidamente identificados e direcionados para o laboratório de química geral na UFERSA.

Figura 7: Matadouro Municipal onde foi coletado a matéria-prima

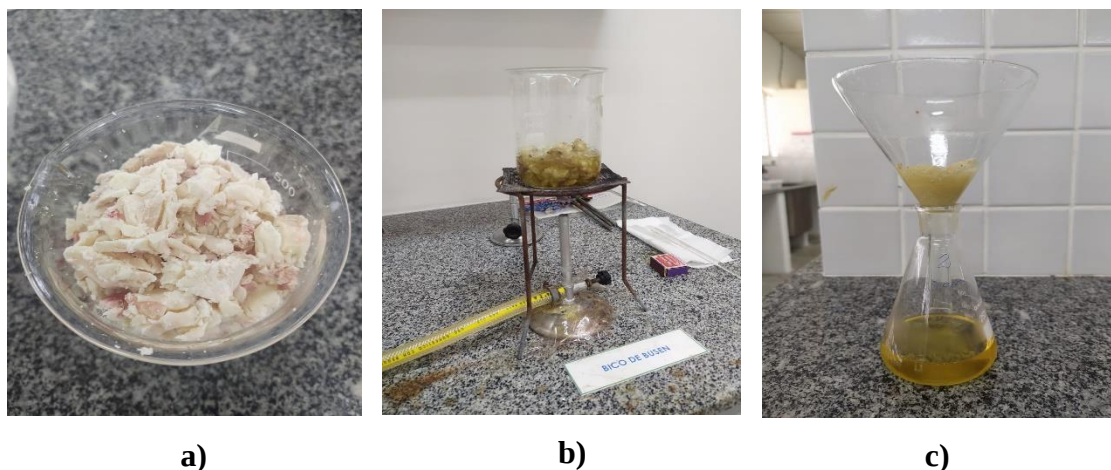


Fonte: Prefeitura de Caraúbas, 2018.

3.2.2 Produção do biodiesel

O sebo foi triturado e submetido ao aquecimento no bico de Busen para que o mesmo fosse derretido. Após o derretimento, o óleo filtrado e levado para a estufa de secagem para que se mantivesse sem umidade e para que não solidificasse a temperatura ambiente (Vide Figura 8).

Figura 8: a) Sebo triturado; b) Processo de derretimento do sebo no bico de Busen; c) filtragem do sebo.



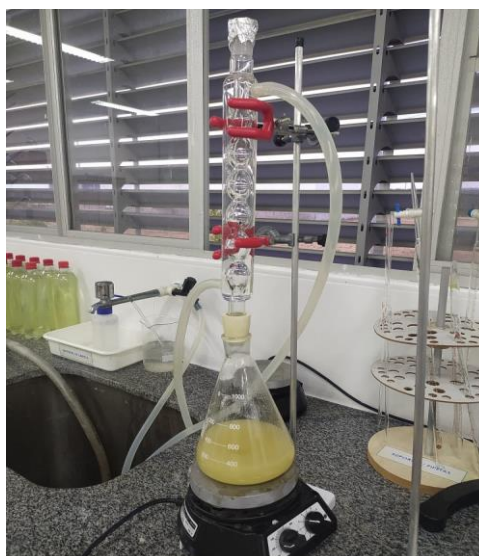
Fonte: O autor.

O óleo foi submetido a uma reação de transesterificação por rota etílica utilizando a catálise homogênea básica, onde foi aplicado uma razão óleo-etanol de 1:10 e de 2 a 4% de catalisador (essa quantidade depende da quantidade de ácidos graxos livres presente no sebo), ou seja, 100 g de óleo, 165 g de álcool etílico e 2 a 4 g de catalisador. O sebo foi derretido em pequenas porções diárias, pois o mesmo solidifica rápido e não havia um local de armazenamento específico.

Inicialmente, o óleo líquido, após o derretimento do sebo, foi pesado e colocado em uma estufa de secagem (aproximadamente 70°C) para que não houvesse solidificação. Em seguida, foi preparada a solução de etanol e KOH a quente (aproximadamente 50°C) e misturada com o óleo. Uma vez feita a mistura, deixou-se agitando por aproximadamente 3 horas a uma temperatura aproximada de 60°C.

Para a realização da reação foi montado um sistema com um agitador magnético com aquecimento, para manter a temperatura, e um condensador para tentar diminuir a perda de etanol, como mostra a Figura 9.

Figura 9: Sistema utilizado para a reação de transesterificação



Fonte: O autor.

Posteriormente, a mistura foi transferida para um funil de decantação e mantida em repouso por 24 horas para que houvesse a separação do biodiesel e do glicerol (Figura 10). Depois da separação, foi retirada a glicerina e, o biodiesel foi lavado repetidas vezes com água quente até a completa remoção de KOH e/ou etanol. Adiante foi submetido a estufa de secagem a 100°C por 1 hora para retirar qualquer resquício de água.

Figura 10: Separação de fases após a reação de transesterificação.



Fonte: O autor.

3.2.3 Caracterização físico-química do biodiesel

Algumas das características utilizadas para especificar o biodiesel estão descritas a seguir, todas realizadas em triplicata, e os limites aceitáveis para sua especificação encontram-se no Anexo I.

Índice de acidez: É um processo que quantifica as substâncias ácidas sob condições específicas. Segundo Santos (2010), é uma análise que orienta a escolha de matérias-primas adequadas para a produção de biodiesel, pois uma alta acidez indica uma alta presença de ácidos graxos livres. Com este índice elevado, seria necessário um tratamento prévio. Conforme a Resolução da ANP N°45 de 25 de agosto de 2014, o limite máximo estipulado para IA é de 0,5 mg KOH/g. Entretanto, se for encontrado valores superiores pode-se supor que permanecem alguns ácidos graxos livres no biodiesel (MORAES, 2008).

Para esta análise, pesou-se 2g da amostra do óleo em um erlenmeyer, adicionando 25 ml da solução de éter-álcool (2:1), previamente neutralizada com uma solução de hidróxido de sódio 0,1 N. Em seguida, adicionou-se 2 gotas do indicador fenolftaleína 1% e titulou-se com solução de NaOH 0,1 N, até a obtenção da cor rosa. O cálculo foi feito por meio da Equação 1 e o resultado encontrado foi expresso em mg NaOH/g.

$$IA = \frac{(V_a - V_b) \times FC \times 5,61}{M} \quad \text{Equação 1}$$

Onde: IA é o índice de acidez; V_a é o volume da solução de NaOH 0,1 N gasto na titulação; V_b é o volume da solução NaOH 0,1 N gasto na solução branco; FC é o fator de correlação da solução NaOH; M é a massa da amostra e 5,61 é o fator de correção (SANTOS, 2010).

Massa específica: esta análise tem como objetivo restringir alguns insumos como matéria-prima para a produção de biocombustível. A projeção dos motores determina uma faixa de densidade para que haja um bom funcionamento, se houver variação o conteúdo da porção de combustível injetada e a relação ar-combustível ficam alteradas aumentando a emissão de gases poluentes ou a perda de potência do motor e, consequentemente, um maior consumo.

Esta análise foi feita através da técnica de picnometria utilizando um picnômetro de 50 mL previamente calibrado.

Ácidos graxos livres: Esta análise determina a porcentagem de ácidos graxos livres presentes no óleo e no biodiesel. De acordo com Santos (2010), esta propriedade serve como indicativo da qualidade do óleo para consumo e, serve também, como parâmetro para a reação de transesterificação. Para quantificar os ácidos graxos livres, pesou-se 5g do biodiesel em um Erlenmeyer e adicionou-se 50mL de álcool etílico 92,8% previamente neutralizado com uma solução aquosa padrão de NaOH aproximadamente 0,1M. Aqueceu-se a solução até o início da ebulição. Em seguida, utilizou-se 0,5 mL da solução de fenolftaleína a 1% como indicador para titular a quente com a solução aquosa de NaOH até que a coloração rósea permanecesse por 15 segundos. Por fim, usou-se a Equação 2 para o cálculo.

$$\%AGL = \frac{V \times f \times 28,02}{m} \quad \text{Equação 2}$$

Onde: AGL é a quantidade de ácidos graxos livres; V é o volume (mL) da solução de NaOH a 0,1M; f é o fator da solução de NaOH e m é a massa (g) da amostra.

Índice de saponificação: Segundo Dantas (2006), esta análise é definida como a massa de KOH necessário para que haja a saponificação dos ácidos graxos, resultantes da hidrólise de um grama da amostra, sendo inversamente proporcional ao peso molecular médio dos ácidos graxos presentes.

Pesou-se 2g da amostra em um Erlenmeyer e adicionou-se 20 mL de solução alcoólica de KOH a 4% m/m. Posteriormente, montou-se um sistema adaptando o Erlenmeyer a um condensador de refluxo e aqueceu-se até o início da ebulição permanecendo por 30 minutos. Ao fim deste tempo, adicionou-se 2 gotas de fenolftaleína e titulou-se a quente com ácido clorídrico 0,5 N, previamente padronizado, até o desaparecimento da cor rosa. Realizou-se também o branco utilizando o mesmo procedimento.

Por meio da Equação 3, foi determinado o índice de saponificação:

$$IS = \frac{(V_A - V_B) \times C_T \times 28}{m} \quad \text{Equação 3}$$

Onde: IS é o índice de saponificação de Koettstorfer; V_A é o volume (mL) de HCl 0,5 M gasto na titulação da amostra; V_B é o volume (mL) de HCl 0,5 M gasto na titulação do solvente (branco); C_T é a concentração da solução de HCl; m é a massa (mg) da amostra de biodiesel e 28 é o fator de correção.

Teor de umidade: Esta análise informa o percentual de umidade e materiais voláteis através da perda de peso sobre a amostra. O teor de umidade foi calculado pensando-se 5 g da amostra em um cadinho de porcelana, aquecido por 1 hora na estufa a 105°C, resfriada no dessecador e, por fim, pesado. Este processo foi feito até que se obtenha peso quase constante. O cálculo do percentual foi feito por meio da Equação 4:

$$\% \text{Umidade} = [(M_1 - M_2) \times 100 / M_1] \quad \text{Equação 4}$$

Onde: M_1 é a massa úmida e M_2 é a massa seca após o aquecimento.

Água e sedimentos: A determinação desta análise visa controlar a existência de contaminantes sólidos e água (SANTOS, 2010). Geralmente, no biodiesel, o teor de água e sedimentos é mais elevado que no diesel convencional. Os contaminantes sólidos diminuem a vida útil dos filtros veiculares, ocasionando o entupimento de válvulas e bicos injetores e, conseqüentemente, prejudicam o funcionamento do motor.

A quantificação de água e sedimentos foi adaptada de acordo com a norma ASTM 445. Utilizou-se 10 mL da amostra de biodiesel para que fosse centrifugada numa força centrífuga de 800 Rpm durante 10 minutos. Após a centrifugação, observou-se o volume de água e sedimentos precipitado no fundo do tubo e referiu-se como o percentual volumétrico de água e sedimentos presente na amostra.

Análise termogravimétrica (TG/DTG): Pode ser definida como um processo contínuo que avalia a variação de massa de uma substância em função da temperatura e/ou tempo. A curva DTG auxilia na compreensão da curva TG, determinando de forma mais rápida e clara a temperatura inicial, final e a máxima de degradação, além de identificar substâncias e separação de reações sobrepostas (SANTOS, 2010).

As curvas de TG/DTG foram realizadas em equipamento de análises simultâneas TG-DSC Netzsch modelo STA 449 F3 utilizando cadinho de alumina com rampa de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$ e fluxo de N_2 de $60 \text{ mL}.\text{min}^{-1}$.

3.2.4 Teste de desempenho no motor

Após todo o processo de produção e caracterização das análises necessárias, deu-se início aos testes no motor ciclo diesel, ilustrado na Figura 11, da fabricante Bounous modelo 13 DBT que contém: 1 cilindro, refrigeração a ar, cilindrada total de 762 cm^3 , taxa de compressão de 17,5:5 e potência de 13CV (9,5 kW) a 2000 rpm (rotação controlada por um governador elétrico associado ao motor). Os testes foram feitos no laboratório de Termofluidos da engenharia mecânica localizado na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, campus Caraúbas.

Figura 11: Motor utilizado para a realização dos ensaios.



Fonte: O autor.

Os ensaios consistiram em avaliar o consumo do motor utilizando o biodiesel em diferentes composições (misturas com o diesel convencional), além de observar a emissão de gases através do escapamento.

Utilizou-se o diesel s500 da rede de abastecimento local, com uma concentração de biodiesel de 10%, e no decorrer dos ensaios esta porcentagem foi ampliada, de modo que obtivesse as misturas B10 (referente ao diesel comercial s500 puro), B25, B60 e, por fim,

B100 que se refere ao biodiesel puro. É necessário que para cada mistura, o motor queime por um tempo para ter a comprovação de que cada combustível em teste está sendo consumido devidamente. Por fim, contabilizou-se o consumo em massa de combustível a cada 10 segundos durante 2 minutos para cada mistura.

Para impedir a entrada de ar no motor no instante da troca do tipo de combustível, adequou-se um sistema de conexões tipo “T”, adaptadores e registros, conforme mostrado na Figura 12.

Figura 12: Sistema de conexões, adaptadores e registros.



Fonte: O autor.

Por fim, mediu-se o consumo de combustível pela diferença de massa, utilizando uma balança digital para quantificar essa medição (Vide Figura 13).

Figura 13: Processo de medição de consumo de combustível.



Fonte: O autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico serão discutidos os resultados obtidos das caracterizações físico-químicas das amostras e do teste de desempenho realizado no motor com as misturas de biodiesel e diesel comercial.

4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA MATÉRIA-PRIMA E DO BIODIESEL

A determinação da qualidade do combustível é um fator crucial para a comercialização do biodiesel e deve ser analisada através das propriedades físico-químicas e especificações de Normas ou Resoluções. Os primeiros resultados obtidos neste trabalho são referentes aos parâmetros físico-químicos das amostras de sebo bovino e do biodiesel produzido mostrados na Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 4: – Propriedades físico-químicas obtidas para o sebo bovino.

Propriedades	Sebo Bovino
Índice de Acidez (mg KOH/g)	3,61
Ácidos Graxos Livres (%)	23,3
Índice de Saponificação (mg KOH/g)	238,6

Fonte: O autor.

Estudos indicam que a condição ideal para a produção de biodiesel, no que se refere a ácidos graxos livres e índice de acidez, são valores abaixo de 0,5% e 2,0 mg KOH/g, respectivamente. Os valores mostrados na Tabela 4 não estão dentro dos limites, possivelmente a forma de armazenamento influenciou na qualidade do sebo, já que o mesmo foi guardado em geladeiras, contato direto com a umidade. Segundo Silva (2015), a presença de água na amostra favorece a hidroxilação do sebo aumentando o índice de acidez. Mesmo com a acidez elevada, o insumo foi utilizado para a produção do biodiesel por rota etílica.

Pode-se perceber, durante os experimentos, que em algumas amostras havia a formação parcial ou total de sólidos que impedia a separação de fases. Estes sólidos, possivelmente, eram restos de sebo que não foram convertidos na reação de transesterificação devido ao índice de acidez elevado da matéria-prima. Um meio

encontrado para tentar solucionar este problema foi adicionar uma quantidade maior de catalisador.

Em relação ao índice de saponificação quanto mais elevado for, maior é a propensão do surgimento de subprodutos na reação de transesterificação, dificultando o processo de lavagem e afetando o rendimento de biodiesel. O valor encontrado neste trabalho se assemelha ao de Santos (2010) que encontrou o valor de 246, 1 mg KOH/g, que relatou problemas durante o processo de lavagem e menor rendimento.

Após todo o processo de obtenção do biodiesel, inicialmente, foi feito um teste qualitativo para comprovar a eficácia da reação de transesterificação do biodiesel produzido. O teste consistiu em solubilizar o biodiesel produzido em etanol. Este teste mostrou-se satisfatório já que o biodiesel é solúvel em etanol, enquanto que o sebo não, comprovando de forma rápida que o produto gerado na reação é de fato, em sua maior composição, biodiesel.

A Tabela 5 mostra que o biodiesel produzido se encontra dentro dos parâmetros estabelecidos pela ANP.

Tabela 5: Propriedades físico-químicas do biodiesel produzido comparadas com a ANP.

Propriedades	Biodiesel	Resolução ANP
Índice de Acidez (mg KOH/g)	0,47	≤ 0,5
Índice de Saponificação (mg KOH/g)	213,5	-
Massa específica (kg/m³)	867	850 – 900
Água e Sedimentos (mg/kg)	0,0	500
Teor de umidade (%)	4,6	-

Fonte: O autor.

O índice de acidez, análise que representa segurança no que diz respeito a corrosão nos componentes do motor estocagem e a qualidade do biocombustível, apresentou um teor de 0,47 mg KOH/g se mantendo dentro do intervalo exigido pela ANP. Pode-se perceber, que houve uma redução significativa quando comparado com o índice de acidez do sebo e, que apesar do sebo não estar em condições favoráveis de síntese, o biodiesel atendeu as especificações exigidas.

Quanto a massa específica, importante propriedade que influencia na injeção e circulação de combustível no motor, apresentou um valor dentro do limite estabelecido.

Santos (2010) e Brito (2020) também encontraram valores semelhantes, 829,8 e 874,12 mg KOH/g respectivamente.

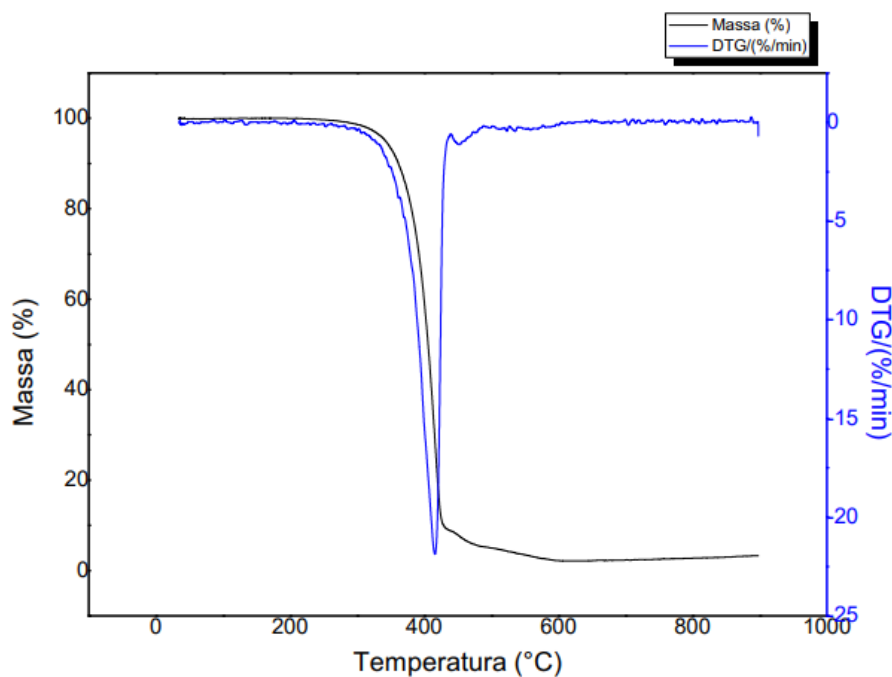
O resultado obtido na análise de água e sedimentos demonstrou que os processos de lavagem e secagem foram eficientes, pois não foi encontrado impurezas e nem sinais visíveis de água no biodiesel.

4.2 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA DO SEBO BOVINO E DO BIODIESEL

Esta análise gera como resultado uma curva de decomposição térmica que informa as etapas de degradação da amostra em função da temperatura (SILVA, 2009). A curva TG/DTG do sebo bovino está apresentada na Figura 14. O sebo demonstrou apenas um estágio de degradação térmica entre 258,78 - 440,06°C, com perda de massa de 90,62% referente à decomposição térmica dos triglicerídeos e uma massa residual, impurezas ou resíduos inorgânicos não degradados, de 2,11% (ver

Tabela 6).

Figura 14: Termograma do sebo bovino.

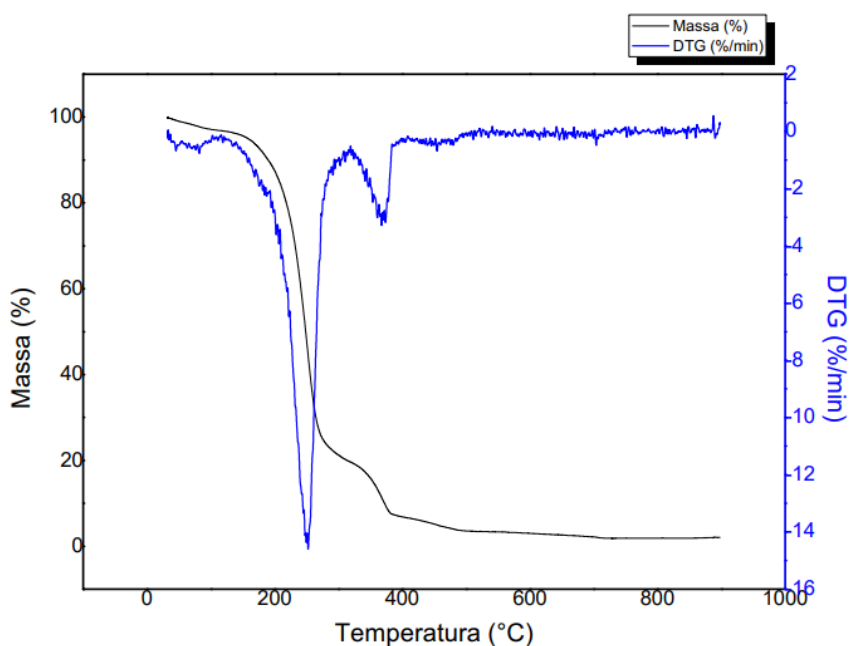


Fonte: O autor.

A curva TG/DTG do biodiesel produzido está apresentado na Figura 15. Pode-se observar a presença de três eventos de perda de massa. O primeiro evento, possivelmente, refere-se à umidade presente na amostra apresentando 3,14% de perda de massa, valor que se assemelha ao encontrado na análise de teor de umidade.

O segundo evento é a degradação do biodiesel, que apresentou uma perda de massa de 77,05% que se refere a taxa de conversão do sebo em biodiesel. E o terceiro evento caracterizado, provavelmente, por resquícios de sebo que não foram convertidos durante a reação. Este fato pode ser explicado devido à alta quantidade de ácidos graxos livres presentes no sebo bovino que ao reagir com o catalisador neutralizava a reação favorecendo ao processo de saponificação ou o processo incompleto da transesterificação (SILVA, 2009). Observa-se também uma massa residual de 1,79%, referente a algum composto inorgânico ou a restos de KOH que não foram eliminados totalmente durante a lavagem.

Figura 15: Termograma do biodiesel de sebo bovino.



Fonte: O autor.

Na .

Tabela 6, encontram-se os dados termogravimétricos do sebo bovino e do biodiesel. Pode-se observar que o intervalo de temperatura do biodiesel é menor que o do sebo bovino, demonstrando uma maior volatilidade podendo ser caracterizado como combustível.

Tabela 6: Dados Termogravimétricos (TG/DTG) para o sebo bovino e biodiesel.

Eventos	Propriedades	Amostras	
		Sebo	Biodiesel
I	Intervalo de temperatura (°C)	258,78 - 440,06	35,13 - 107,55
	Temperatura do pico (°C)	414,26	81,99
	Perda de massa (%)	90,62	3,14
II	Intervalo de temperatura (°C)	-	107,55 - 318,42
	Temperatura do pico (°C)	-	252,39
	Perda de massa (%)	-	77,05
III	Intervalo de temperatura (°C)	-	318,42 - 392,97
	Temperatura do pico (°C)	-	367,41
	Perda de massa (%)	-	12,02
	Massa residual (%)	2,11	1,79

Santos (2010) encontrou uma temperatura de pico de 258°C, um pouco inferior a temperatura encontrada neste trabalho. Isso pode ser explicado devido ao tipo de álcool utilizado, já que o uso do álcool etílico gera um éster etílico de maior cadeia que o éster metílico que é obtido quando se usa o metanol. Quanto maior a cadeia do composto, maior é a sua temperatura de degradação.

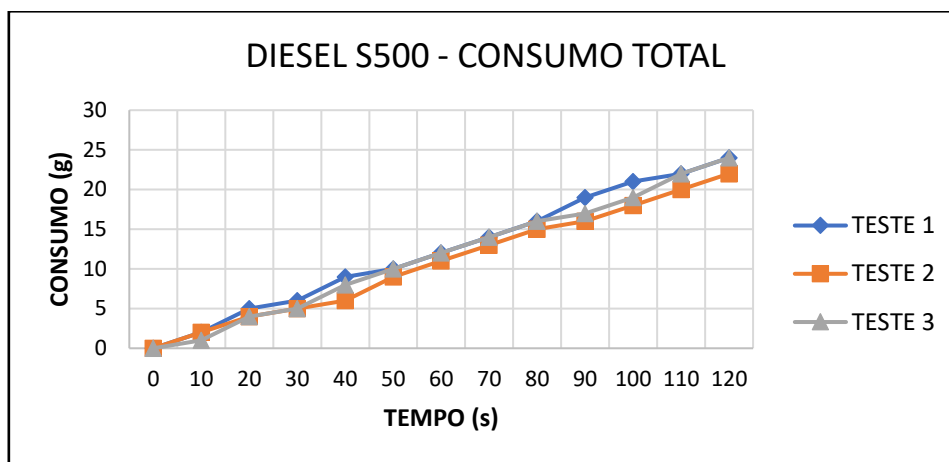
4.3 TESTES DE DESEMPENHO NO MOTOR

4.3.1 Diesel Comercial S500

A fim de se obter referências de parâmetros para o biodiesel produzido, foram realizados 3 ensaios consecutivos (vide

Figura 16) para medir o consumo do diesel S500 durante um intervalo de 2 minutos verificando a massa consumida a cada 10 segundos do motor ligado com uma rotação de 2000 rpm.

Figura 16: Gráfico de consumo do diesel comercial S500.



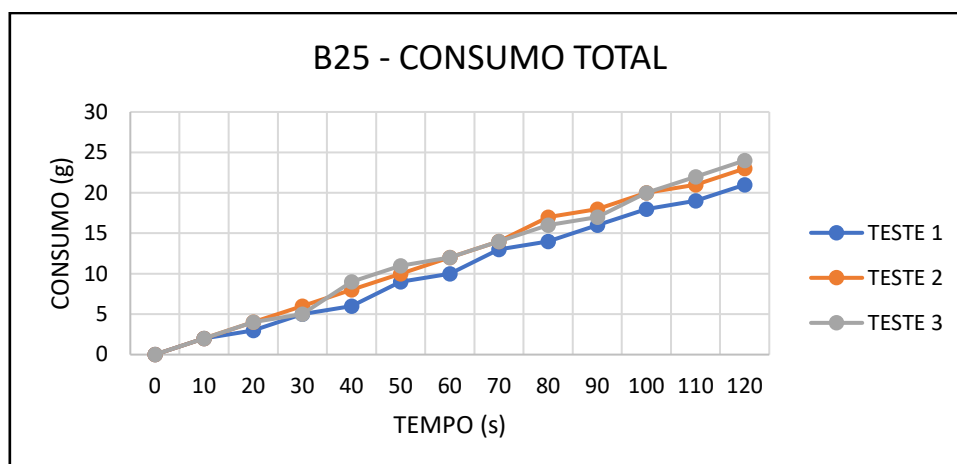
Fonte: O autor.

O consumo médio deste ensaio foi de 11,67 g/minuto. Fernandes (2015), registrou um consumo médio sob mesma rotação de 2000 rpm de 39 g/minuto utilizando um diesel comercial com 7% de biodiesel. Bueno (2006) explica que a adição de biodiesel favorece a conversão de energia proporcionando uma melhor eficiência e, conseqüentemente, um menor consumo.

4.3.2 Mistura B25

Seguindo os mesmos procedimentos realizados para o diesel S500, foram realizados três ensaios consecutivos (vide Figura 17) para medir o consumo da mistura B25.

Figura 17: Gráfico de consumo da mistura B25.



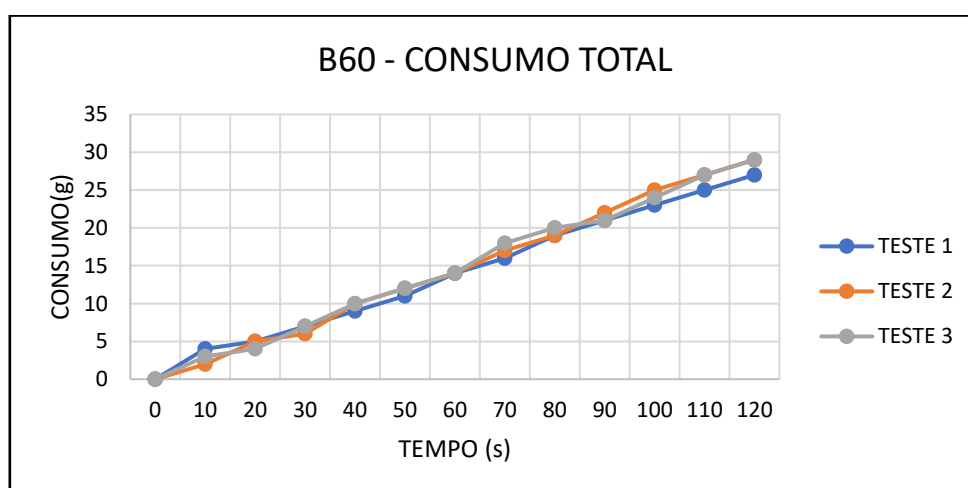
Fonte: O autor.

O consumo comportou-se de forma linear, assim como no ensaio do diesel comercial. O consumo médio desta mistura foi 10,67 g/minuto.

4.3.3 Mistura B60

Utilizando os mesmos procedimentos realizados nos ensaios anteriores, foi testado o consumo com o a mistura de diesel + biodiesel 60% (ver Figura 18).

Figura 18: Gráfico de consumo da mistura B60.



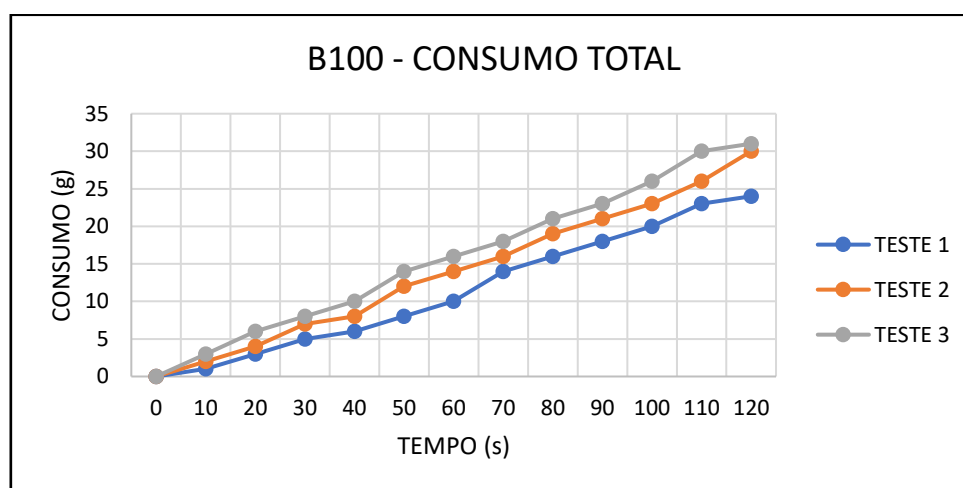
Fonte: O autor.

Pode-se perceber também um comportamento linear neste ensaio e o consumo médio foi de 14,67 g/minuto. Percebe-se um aumento do consumo quando comparado com o diesel puro e a mistura B25.

4.3.4 Mistura B100

Analisando o biodiesel de sebo bovino puro e utilizando os mesmos procedimentos citados anteriormente, foram observados os seguintes valores de consumo mostrados na Figura 19. O motor funcionou sem nenhuma anormalidade e os gases do escapamento apresentavam uma coloração mais clara quando comparado com o diesel S500.

Figura 19: Gráfico de consumo da mistura B100.



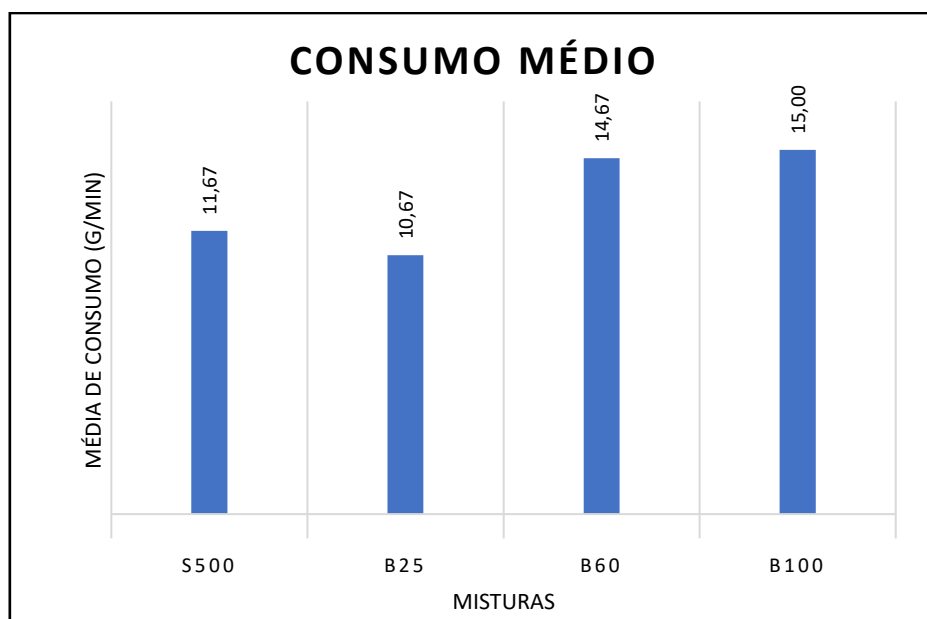
Fonte: O autor.

O consumo médio do B100 ao fim do ensaio foi de 15,0 g/minuto. Esta proporção constatou o maior consumo deste trabalho

4.3.5 Abordagem geral

Ao fim de todos os testes, observou-se que dentro do intervalo de tempo adotado havia uma faixa de constância de consumo situada entre 50 e 110 segundos. Tal constatação foi mostrada na Figura 20.

Figura 20: Comparativo do consumo médio entre as misturas no intervalo de 50 e 110 segundos.



Fonte: O autor.

Esta faixa de consumo constante durante o intervalo de 50 a 110 segundos pode ser explicada devido o tempo que o motor leva para se estabilizar. Observa-se que o consumo do B100 é mais elevado, resultado esperado já que o poder calorífico é inferior ao diesel comercial, fato também constatado por Fernandes (2015).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos neste trabalho pode-se concluir que:

- A matéria-prima utilizada apresentou-se, de forma geral, apta para a produção de biodiesel através da reação de transesterificação por rota etílica, embora exija mais alguns estudos acerca de como melhorar o rendimento afetado pelo alto teor de ácidos graxos livres;
- Os parâmetros físico-químicos analisados do biodiesel de sebo bovino estão dentro das especificações estabelecidas pela Resolução ANP N°7/2008;
- O biodiesel de sebo bovino apresentou bom desempenho quando testado no motor ciclo diesel, sem anormalidades ou prejuízo no equipamento durante o funcionamento;
- Dentre as proporções de misturas feitas a B25 apresentou um melhor consumo quando comparado ao diesel comercial puro, na faixa de estabilidade do motor;
- De forma geral, pode-se concluir que o biodiesel puro pode ser utilizado em veículos automotores apesar do maior consumo. No entanto, este maior consumo pode ser atribuído ao fato de que motores da atualidade não são preparados para este tipo de combustível.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP. (2021). Informações de Mercado - Biodiesel. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Rio de Janeiro. Acesso em 22 de agosto de 2021, disponível em <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-debiocombustiveis/biodiesel/biodiesel/informacoes-de-mercado>.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. [BIOCOMBUSTÍVEL]. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biodiesel.asp>. Acesso em: 20 out. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Resolução nº 45, de 25 de agosto de 2014. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=274064>. Acesso em: 04 out. 2021.

ALVES, Carine Tondo. **Transesterificação de Óleos e Gorduras Residuais via rotas metílica e etílica utilizando o catalisador Aluminato de Zinco, em presença ou não de CO₂ supercrítico**. 2012. 213 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012. Disponível em: https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/23902/1/TESE-CARINE_TONDO_ALVES.pdf. Acesso em: 26 out. 2021.

BLOG, Esfera. **Tudo sobre energia fóssil: fontes, prós e contras e como é usada no Brasil**. 2021. Disponível em: <https://esferaenergia.com.br/blog/energia-fossil/>. Acesso em: 14 nov. 2021.

BRASIL, Governo do. **Fontes de energia renováveis representam 83% da matriz elétrica brasileira**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/01/fontes-de-energia-renovaveis-representam-83-da-matriz-eletrica-brasileira>. Acesso em: 17 out. 2021.

BRASIL. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe Sobre A Introdução do Biodiesel na Matriz Energética Brasileira. Brasília, DF: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm. Acesso em: 22 jul. 2021.

BRITO, Diego Bruno Oliveira de. **PRODUÇÃO E ANÁLISE DE DESEMPENHO DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO DE SOJA REUTILIZADO**. 2020. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2020.

BRUNELLI, Rafael Rogério. Estudo da viabilidade operacional e desempenho de motores de combustão interna operando com combustível biodiesel em relação ao combustível diesel automotivo. 2009. 159 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/17562>. Acesso em: 20 set. 2021.

BUENO, André Valente. Análise da operação de motores diesel com misturas parciais de biodiesel. 2006. 103 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2006.

CANTO, Karen. **Com matriz energética mais renovável do mundo, País lidera produção de biocombustíveis**. 2021. Disponível em: <https://www.brasilagro.com.br/conteudo/-com-matriz-energetica-mais-renovavel-do-mundopais-lidera-producao-de-biocombustiveis.html>. Acesso em: 15 nov. 2021.

CONNOR, Nick. **O que é o Ciclo de Diesel – Motor a Diesel – Definição**. 2020. Disponível em: <https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-o-ciclo-diesel-motor-diesel-definicao/>. Acesso em: 28 set. 2021.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA – CNPE. Resolução N° 2, de 13 de março de 2008. Estabelece em três por cento, em volume, o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final. Brasília: Diário Oficial da União, 13 mar. 2008. Acesso em: 13 out. 2021.

DANTAS, Manoel Barbosa. **Obtenção caracterização e estudo termoanalítico de biodiesel de milho (Zea mays L.)**. 2006. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

EMBRAPA. Biodiesel e sua sustentabilidade. Disponível em: http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2010/Trabalho_biodiesel_11_de_janeiro_de_2010-versao_final.pdf. Acesso em: 13 out. 2021.

FREITAS, Emmanuelle Soares de Carvalho. PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DO SEBO BOVINO: PROPOSTA DE UM SISTEMA DE LOGÍSTICA REVERSA. 2016. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

FERNANDES, Fernando Souza; SILVA, Daniel Fernando da. **ANÁLISE DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM UM MOTOR DIESEL 4T UTILIZANDO ÓLEO DIESEL, BIODIESEL E MISTURA DIESEL/BIODIESEL**. 2015. 56 f. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde, Goiás, 2015. Disponível em: <https://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/Fernando%20Souza%20Fernandes.pdf>. Acesso em: 17 set. 2021.

FERNANDES JÚNIOR, Valter José et al. CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUO SÓLIDO FORMADO EM BIODIESEL DE SEBO BOVINO. Química Nova, Online, v. 35, n. 10, p. 1901-1906, 17 set. 2012. Disponível em: <http://quimicanova.sbq.org.br/default.asp?ed=143>. Acesso em: 21 jul. 2021.

GALLO, W. L. R. Especificações de novos combustíveis: o papel da ANP. In: SEMINARIO PARANAENSE DE BIODIESEL, 1., 2003, Londrina. Disponível em: <http://www.tecpar.br/cerbio/Seminario-palestras.htm>. Acesso em: 26/10/2021.

GRAXARIA, Revista. Sebo bovino: uma commodity cada vez mais valorizada. 2019. Disponível em: <https://www.editorastilo.com.br/sebo-bovino-uma-commodity-cada-vez-mais-valorizada/>. Acesso em: 14 nov. 2021.

HERNANDES, Marcelo Rocha. **Estudo dos componentes auxiliares de partida a frio de motores movidos a Diesel**. 2011. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

HINRICHS, Roger A.; KLEINBACH, Merlin; REIS, Lineu B. Energia e meio ambiente. 5.ed. Traduzido por: Lineu Belico dos Reis, Flavio Maron Vichi e Leonardo Freire de Mello. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

FERNANDES JÚNIOR, Valter José *et al.* **CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUO SÓLIDO FORMADO EM BIODIESEL DE SEBO BOVINO**. 2012. 35 v. TCC (Doutorado) - Curso de Química, Química Nova, Online, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/xj4CpTz9Lr3Ks9pZ5kDYbPC/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 09 nov. 2021.

LAURINDO, J. C. Combustíveis alternativos no Tecpar e na UFPR. In: SEMINÁRIO PARANAENSE DE BIODIESEL, 1., 2003, Londrina. Disponível em: <http://www.tecpar.br/cerbio/Seminario-palestras.htm>. Acesso em: 26/10/2021.

LEVY, Gabriel. **A inserção do sebo bovino na indústria brasileira do biodiesel: análise sob a ótica da economia dos custos de transação e da teoria dos custos de mensuração**. 2011. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Economia Aplicada, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-07022012-085502/publico/Gabriel_L Levy.pdf. Acesso em: 14 nov. 2021.

MACHADO, G. 2011. Vantagens e impactos ligados aos biocombustíveis. Disponível em: <http://style.greenvana.com/2011/vantagens-dos-biocombustiveis-e-seu-impacto-ambiental/>. Acesso em 24 out. 2021.

MARTINS, Jorge. **Motores de Combustão Interna**. 2. ed. Porto, Portugal: Publindústria Edições Técnicas, 2006. 464 p.

MARTINS, Luiz Oscar Silva; CARNEIRO, Roberto Antonio Fortuna. O sebo bovino como insumo estratégico da cadeia de biodiesel: uma análise crítica. **Bioenergia em Revista: Diálogos**, Piracicaba, v. 1, n. 3, p. 32-44, jan. 2013.

MBARAKA, I.; SHANKS, B. Conversion of oils and fats using advanced mesoporous heterogeneous catalysts. *Journal of American Chemical Society*, v. 83, n. p. 79- 91, 2006.

MEHER, L. C; VYDIA SAGAR, D; NAIK, S.N. Technical aspects of biodiesel production by transesterification – a review. *Renewable and Sustainable Energy Review*, v. 10, p. 248-268, 2006.

MENEZES, Eliana Weber de. **Produção de trabalho, geração de contaminantes e tratamento pós combustão em motores ciclo diesel**. 2009. 170 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/17484>. Acesso em: 23 set. 2021.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Produção de biodiesel bate recorde histórico e atinge 3.937 mil m³ em 2015. Publicado em: 18/03/2016 Disponível em: http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/producao-de-biodiesel-bate-recorde-historico-em-2015-e-atinge-3-937-mil-m-em-2015. Acesso em: 12/10/2021.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB)**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/agricultura-familiar/biodiesel/programa-nacional-de-producao-e-uso-do-biodiesel-pnpb>. Acesso em: 28 set. 2021.

MORAES, Maria Silvana Aranda. **Biodiesel de sebo: avaliação de propriedades e testes de consumo em motor a diesel**. 2008. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

MOURA, Kátia Regina Marques. **“OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL METÁLICO DO SEBO BOVINO APLICANDO UM DELINEAMENTO COMPOSTO CENTRAL ROTACIONAL (DCCR) E A AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE TERMICA”**. 2008. 146 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – Pb, 2008. Disponível em: http://www.quimica.ufpb.br/ppgq/contents/documentos/teses-e-dissertacoes/teses/2008/Tese_Katia_R_M_Moura.pdf. Acesso em: 09 nov. 2021.

ROSA, Josimar Souza. Estudo de um motor ciclo diesel monocilíndrico bi-combustível. 2014. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2014. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/3459>. Acesso em: 23 set. 2021.

SANTOS, Anne Gabriella Dias. **Avaliação de estabilidade térmica e oxidativa do biodiesel de algodão, girassol, dendê e sebo bovino**. 2010. 185 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/Rn, 2010.

SILVA, Antônio Alex de L. *et al.* Síntese e Caracterização de Biodiesel de Sebo Bovino e de sua Mistura B10. **Orbital: The Electronic Journal Of Chemistry**. Online, p. 21-27. jan. 2015.

SILVA, Jéssica de Souza. **PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MISTURAS DE ÓLEO DE SOJA E GORDURAS ANIMAIS PARA A APLICAÇÃO NA REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO**. 2015. 35 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade de Brasília - Unb, Brasília, Df, 2015. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/15083/1/2015_JessicaDeSouzaSilva.pdf. Acesso em: 09 nov. 2021.

SIMÊNCIO, Éder Cícero Adão. Motores de combustão interna. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A, 2019. 214 p.

TEIXEIRA, Geuza Araújo de Albuquerque. Avaliação do tempo de vida útil de biodiesel metílico obtido a partir da mistura de sebo bovino e óleos de soja e babaçu. 2010. 151 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

URIBE, Raul Andres Martinez et al. **PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DO SEBO BOVINO: VIABILIDADE ECONÔMICA E MÉTODOS DE PRODUÇÃO**. Congresso Nacional de Excelência em Gestão. 2014. Disponível em:

https://www.inovarse.org/artigos-por-edicoes/X-CNEG-2014/T14_0356.pdf. Acesso em: 09 ago. 2021.

VARÃO, L. H. R.; SILVA, T. A. L.; ZAMORA, H. D. Z.; PASQUINI, D. VANTAGENS E LIMITAÇÕES DO SEBO BOVINO ENQUANTO MATÉRIA--PRIMA PARA A INDÚSTRIA BRASILEIRA DE BIODIESEL HOLOS, vol. 7, 2017, pp. 39-54 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte Natal, Brasil.

ANEXO 1 – REGULAMENTO TÉCNICO N°1/2008

1.1. Especificações do biodiesel

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO		
			ABNT/NBR	ASTM D	EN/ISO
Aspecto	-	LII (1)	-	-	-
Massa específica a 20° C	kg/m³	850- 900	7148 14065	1298 4052	EN ISO 3675 - EN ISO 12185
Viscosidade Cinemática a 40°C	mm²/s	3,0-6,0	10441	445	EN ISO 3104
Teor de Água, máx. (2)	mg/kg	500	-	6304	EN ISO 12937
Contaminação Total, máx.	mg/kg	24	-	-	EN ISO 12662
Ponto de fulgor, mín. (3)	°C	100,0	14598	93	EN ISO 3679
Teor de éster, mín	% massa	96,5	15342 (4) (5)	-	EN 14103
Resíduo de carbono (6)	% massa	0,050	-	4530	-
Cinzas sulfatadas, máx.	% massa	0,020	6294	874	EN ISO 3987
Enxofre total, máx.	mg/kg	50	-	5453	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Sódio + Potássio, máx.	mg/kg	5	15554 15555 15553 15556	-	EN 14108 EN 14109 EN 14538

Cálcio + Magnésio, máx.	mg/kg	5	15553 15556	-	EN 14538
Fósforo, máx.	mg/kg	10	15553	4951	EN 14107
Corrosividade ao cobre, 3h a 50 °C, máx.	-	1	14359	130	EN ISO 2160
Número de Cetano (7)	-	Anotar	-	613 6890 (8)	EN ISO 5165
Ponto de entupimento de filtro a frio, máx.	°C	19 (9)	14747	6371	EN 116
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	0,50	14448	664	EN 14104 (10)
Glicerol livre, máx.	% massa	0,02	15341 (5)	6584 (10)	EN 14105 (10) EN 14106 (10)
Glicerol total, máx.	% massa	0,25	15344 (5)	6584 (10)	EN 14105 (10)
Mono, di, triacilglicerol (7)	% massa	Anotar	15342 (5) 15344 (5)	6584 (10)	EN 14105 (10)
Metanol ou Etanol, máx.	% massa	0,20	15343	-	EN 14110
Índice de Iodo (7)	g/100g	Anotar	-	-	EN 14111
Estabilidade à oxidação a 110°C, mín. (2)	h	6	-	-	EN 14112 (10)

Nota:

- (1) LII – Límpido e isento de impurezas com anotação da temperatura de ensaio.
- (2) O limite indicado deve ser atendido na certificação do biodiesel pelo produtor ou importador.
- (3) Quando a análise de ponto de fulgor resultar em valor superior a 130°C, fica dispensada a análise de teor de metanol ou etanol.
- (4) O método ABNT NBR 15342 poderá ser utilizado para amostra oriunda de gordura animal.
- (5) Para biodiesel oriundo de duas ou mais matérias-primas distintas das quais uma consiste de óleo de mamona:
 - a) teor de ésteres, mono-, diacilgliceróis: método ABNT NBR 15342;
 - b) glicerol livre: método ABNT NBR 15341;
 - c) glicerol total, triacilgliceróis: método ABNT NBR 15344;
 - d) metanol e/ou etanol: método ABNT NBR 15343.
- (6) O resíduo deve ser avaliado em 100% da amostra.
- (7) Estas características devem ser analisadas em conjunto com as demais constantes da tabela de especificação a cada trimestre civil. Os resultados devem ser enviados pelo produtor de biodiesel à ANP, tomando uma amostra do biodiesel comercializado no trimestre e, em caso de neste período haver mudança de tipo de matéria-prima, o produtor deverá analisar número de amostras correspondente ao número de tipos de matérias-primas utilizadas.
- (8) Poderá ser utilizado como método alternativo o método ASTM D6890 para número de cetano.
- (9) O limite máximo de 19°C é válido para as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Bahia, devendo ser anotado para as demais regiões. O biodiesel poderá ser entregue com temperaturas superiores ao limite supramencionado, caso haja acordo entre as partes envolvidas. Os métodos de análise indicados não podem ser empregados para biodiesel oriundo apenas de mamona.
- (10) Os métodos referenciados demandam validação para as matérias-primas não previstas no método e rota de produção etílica.