

BENHURT GONGORA

Características de desempenho e emissões de um motor diesel
movido a biodiesel de babaçu

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
AGOSTO – 2025

BENHURT GONGORA

Características de desempenho e emissões de um motor diesel
movido a biodiesel de babaçu

Tese apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, para obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Reinaldo Aparecido Bariccatti
Coorientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
AGOSTO – 2025

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Gongora , Benhurt

Características de desempenho e emissões de um motor diesel movido a biodiesel de babaçu / Benhurt Gongora ; orientador Reinaldo Aparecido Bariccatti; coorientador Samuel Nelson Melegari . -- Cascavel, 2025.
90 p.

Tese (Doutorado Campus de Cascavel) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2025.

1. Babaçu *Orbignya speciosa* Mart.. 2. Biodiesel. 3. Motor diesel. 4. Emissão de gases. I. Bariccatti, Reinaldo Aparecido , orient. II. Melegari , Samuel Nelson , coorient. III. Título.

BENHURT GONGORA

Características de desempenho e emissões de um motor diesel movido a biodiesel de babaçu

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Biocombustíveis, APROVADO pela seguinte banca examinadora:



Orientador - Reinaldo Aparecido Bariccatti
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Maritane Prior
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Flávio Gurgacz
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Vander Fábio Silveira
Parque Científico e Tecnológico de Biociências (BIOPARK)



Renato Cesar Pompeu
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Medianeira (UTFPR)

Cascavel, 12 de agosto de 2025

**“Quem quiser praticar sempre a
bondade em tudo o que faz,
está fadado a sofrer, entre
tantos que não são bons”.**

Niccolo Machiavelli

AGRADECIMENTOS

Ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

Ao professor orientador Dr. Reinaldo Aparecido Bariccatti pelas orientações e o apoio concedido. Ao professor coorientador Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza e também aos professores Dr. Rodrigo Sequinel e Dr. Douglas Bassegio.

Ao Dr. Samuel Nelson Melegari pelo apoio concedido durante as atividades de pesquisa e estágio de docência. Ao Mestre Selmo Bonatto pelo apoio nas pesquisas.

Aos demais docentes e funcionários membros do Programa de Engenharia de Energia na Agricultura – PPGEA da Unioeste.

Aos meus pais José, Marli e irmão Jomar.

A minha esposa Stelen e filha Emanuelle por todo o apoio e principalmente ao nosso Deus.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cadeia energética do óleo vegetal	03
Figura 2. Média dos principais percentuais de matéria prima do biodiesel.....	05
Figura 3. Capacidade nominal de produção de biodiesel (B100) em grandes regiões (10 ³ m ³ /ano)	06
Figura 4. Processo de transesterificação	08
Figura 5. O fruto do babaçu e seus componentes.....	08
Figura 6. Volume e valor da produção de babaçu.....	09
Figura 7. Produção de babaçu por UF.	10
Figura 8. Mecanismo de quebra do coco babaçu.....	11
Figura 9. Motor ciclo diesel.....	15
Figura 10. Gerador monofásico.....	16
Figura 11. Substâncias presentes na combustão	16
Figura 12. Representação dos particulados com referência a um fio de cabelo.	17
Figura 13. Reação e formação de ozônio	19
Figura 14. Processo de produção do biodiesel.....	21
Figura 15. Amostras dos combustíveis para os ensaios.	21
Figura 16. Bomba calorimétrica.....	22
Figura 17. Banco de cargas.	22
Figura 18. Conjunto motor-gerador.	24
Figura 19. Ensaio de viscosidade	25
Figura 20. Multímetro de grandezas elétricas.	26
Figura 21. Balança Marte As 5000	27
Figura 22. Motogerador com proveta	28
Figura 23. Proveta graduada.....	29
Figura 24. Ensaio de densidade com o picnômetro..	30
Figura 25. Analisador portátil de gases de combustão	31
Figura 26. Coleta da emissão dos gases..	31
Figura 27. Diagrama esquemático do sistema utilizando um gerador ciclo diesel ...	32
Figura 28. Espectro obtido do óleo de babaçu.....	35
Figura 29. Curva termogravimétrica.....	36
Figura 30. Densidade dos combustíveis	38
Figura 31. Poder calorífico superior dos combustíveis	39
Figura 32. Viscosidade dos combustíveis a 40 °C.....	40
Figura 33a. Energia gerada de acordo com as misturas de diesel/biodiesel de babaçu com cargas do motor (W).....	41
Figura 33b. Energia gerada de acordo com as misturas de diesel/biodiesel de soja com cargas do motor (W).....	42
Figura 34. Consumos específicos de acordo com as misturas de biodiesel de babaçu e diesel.....	43
Figura 35. Consumos específicos de acordo com as misturas de biodiesel de soja, e diesel com cargas do motor (W).....	44
Figura 36. Eficiência do conjunto motor-gerador de acordo com as misturas de biodiesel de babaçu, e diesel com suas	45
Figura 37. Eficiência do conjunto motor-gerador de acordo com as misturas de biodiesel de soja, e diesel com suas cargas.	46

Figura 38. Resultado conforme desempenho do biodiesel de babaçu com emissão de (CO).....	47
Figura 39. Resultado conforme desempenho do biodiesel de soja, com emissão de (CO).	48
Figura 40. Desempenho do biodiesel de babaçu com emissão de (CO ₂).....	49
Figura 41. Desempenho do biodiesel de soja com emissão de (CO ₂).....	49
Figura 42. Desempenho do biodiesel de babaçu com emissão de (NO _x).....	50
Figura 43. Desempenho do biodiesel de soja com emissão de (NO _x).....	51
Figura 44. Temperatura de exaustão de gases do biodiesel de babaçu (EGT).....	53
Figura 45a. Temperatura de exaustão de gases do biodiesel de soja (EGT).....	53
Figura 45b. Temperatura de exaustão dos gases proveniente ao diesel e biodiesel de babaçu e soja (EGT).....	54
Figura 46. Hidrocarbonetos dos gases do biodiesel de babaçu (HC).....	55
Figura 47. Hidrocarbonetos dos gases do biodiesel de soja (HC).....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Propriedades físico-química de biodiesel e diesel.....	07
Tabela 2. Ácidos graxos do óleo de babaçu e soja.....	12
Tabela 3. Análise das propriedades do diesel S10 tipo A	20
Tabela 4. Biodieseis de babaçu e soja B100	22
Tabela 5. Combustíveis utilizados no experimento	24
Tabela 6. Especificações técnicas conjunto motor gerador.....	26
Tabela 7. Características do multímetro.....	32
Tabela 8. Especificação técnica do analisador de gases	37
Tabela 9. Densidade dos combustíveis.....	38

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
B0 D100	100 % de diesel S10
B10	10 % de biodiesel no diesel
B15	15 % de biodiesel no diesel
B20	20 % de biodiesel no diesel
B100	100 % de biodiesel
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CNPJ	Cadastro de Pessoa Jurídica
MME	Ministério de Minas e Energia
RN	Resolução Normativa
UNIOESTE	Universidade Estadual do Oeste do Paraná
A	Ampère
°C	Graus Celsius
CE	Consumo específico
EGT	Temperatura de Emissão de Gases
g	Gramas
Hz	Frequência em hertz
kg	Quilograma
kW	Quilowatts
PCS	Poder calorífico superior
rpm	Rotações por minuto
V	Volt
W	Watts

GONGORA, Benhurt. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, agosto de 2025. **Características de desempenho e emissões de um motor diesel movido a biodiesel de babaçu**, Professor Orientador: Dr. Reinaldo Aparecido Bariccatti. Professor Coorientador: Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza.

RESUMO

Os combustíveis fósseis são utilizados nos setores industrial e de transporte, conseqüentemente quando em combustão suas emissões podem ocasionar problemas de saúde e as mudanças climáticas globais. Ademais, o excesso de emissões de gases e fuligem causam poluição atmosférica. Nesse contexto, é mandatória a procura por substitutos aos combustíveis derivados do petróleo. O objetivo deste estudo foi utilizar misturas de biodiesel de coco babaçu com diesel em um motor monocilíndrico acoplado a um gerador e analisar seu desempenho, comportamento de combustão e emissões sob diferentes condições de carga. Além disso, comparar o biodiesel de babaçu com o biodiesel de soja em termos de emissões e desempenho em um motor que utiliza blendas de biodiesel (B0, B10, B15, B20 e B100), respectivamente. O motor durante a experimentação operou com potência máxima nominal de 2,5 kW com cargas resistivas a 3.600 rpm. Foram apresentados os parâmetros medidos: consumo de combustível, temperatura de exaustão (EGT), material particulado (PPM), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC) e dióxido de carbono (CO₂). A comparação mostra que o biodiesel de babaçu tem vantagens sobre a soja, pois a emissão de NO_x foi reduzida em B100 em todas as cargas comparando com os outros combustíveis.

Palavras-chave: Gerador de energia elétrica; Babaçu *Orbignya speciosa Mart.*; Biodiesel de oleaginosas; Consumo de biodiesel; Emissão de gases; Blendas.

Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

GONGORA, Benhurt. State University of Western Paraná, August 2025. **Performance and emission characteristics of a diesel engine fueled by babassu biodiesel**, Advisor Professor: Dr. Reinaldo Aparecido Bariccatti. Professor Co-advisor: Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza.

ABSTRACT

Fossil fuels are used in the automotive and industrial sectors, consequently the combustion can influence health problems and global climate change. Excess soot emissions cause air pollution, so seeking substitutes for petroleum-derived fuels is necessary. This study aims to use babassu coconut biodiesel blends utilized with diesel in a single-cylinder engine and its performance, combustion and emission behavior are analyzed with different loading conditions. Furthermore, it compares babassu coconut biodiesel with soybean biodiesel in terms of emissions and performance of an engine using blends of biodiesel (B0, B10, B15, B20, and B100). The engine was operated during the experimentation with a rated power of 2.5 kW resistances charges at 3600 rpm. The parameters measured are fuel consumption, exhaust temperature (EGT) of smoke emission, particulate matter (PPM), oxides of nitrogen (NO_x), monoxide carbon (CO), hydrocarbons (HC), carbon monoxide (CO) and carbon dioxide (CO²) have been presented. The comparison shows that babassu biodiesel can substitute soybeans because the NO_x emission was reduced at B100 in all charges compared to other fuels.

Keywords: Electricity generator; Babassu (*Orbignya speciosa* Mart.); Oilseed biodiesel; Biodiesel consumption; Emission of gases; Blends.

This work was carried out with the support of the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel - Brazil (CAPES).

ÍNDICE

RESUMO.....	ix
ABSTRACT	x
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo geral	2
1.2 Objetivos específicos	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Óleos vegetais.....	3
2.2 Biocombustíveis	4
2.2.1 Biodiesel.....	4
2.3 Coco Babaçu.....	8
2.3.1 Processos de extração.....	10
2.3.2 O óleo de babaçu comparado com o óleo de soja.....	11
2.3.3 O biodiesel de babaçu.....	12
2.3.4 O biodiesel de soja.....	13
2.4 Lubricidade.....	14
2.5 Ponto de entupimento do biodiesel	14
2.6 Motor ciclo diesel	15
2.7 Gerador monofásico	16
2.8 Emissões	17
2.9 Emissões de óxido de hidrogênio (NOx) relacionado ao número de cetano.....	18
3 MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Local do Experimento.....	20
3.2 Caracterização dos Combustíveis.....	20
3.2.1 Produção do Biodiesel	21
3.3 Descrição Geral do Experimento	22
3.3.1 Medição da Viscosidade Cinemática.....	24
3.3.2 Multímetro de grandezas elétricas	25
3.3.3 Consumo específico.....	26
3.3.4 Eficiência Energética.....	28
3.3.5 Determinação do consumo em volume	29
3.3.6 Densidade a 20°C	29

3.3.7 Índice de acidez	30
3.3.8 Análise das emissões.....	31
3.3.9 Limites de emissões.....	32
3.4 O monóxido e dióxido de carbono.....	33
3.4.1 Espectro infravermelho	33
3.4.2 Análise estatística	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1 Espectro infravermelho do óleo e biodiesel de babaçu	35
4.2 Análise termogravimétrica (TGA)	36
4.3 Propriedades dos biodieseis	37
4.3.1 Densidade	37
4.4 Poder calorífico Superior dos combustíveis	39
4.5 Ensaio de viscosidade	40
4.6 Potência elétrica gerada	41
4.7 Consumo específico dos combustíveis	43
4.8 Eficiência energética do conjunto motor-gerador	45
5.0 Emissões de monóxido de carbono (CO).....	46
5.1 Emissões de dióxido de carbono (CO ₂)	48
5.2 Particulados de Óxidos de Nitrogênio Combinado (NO _x).....	50
5.3 Particulados de dióxido de enxofre (SO ₂).....	52
5.4 Temperatura de Exaustão (EGT)	52
5.5 Emissão de hidrocarbonetos (HC)	54
6 CONCLUSÕES.....	57
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
APÊNDICES	71

1 INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial até 2050 ultrapassará os 9,5 bilhões de habitantes. Será necessário que a matriz energética tenha alternativas sustentáveis para suprir uma demanda de consumo de aproximadamente 40TWh (Harvard, 2023). A procura por culturas com promissor potencial energético e que sejam resistentes ao clima tropical, indica que o babaçu (*Orbignya speciosa Mart*) é considerada uma alternativa viável, pois tem alto teor de óleo (42-65%). Além disso, é de fácil adaptação para o cultivo, sendo uma oleaginosa com potencial para produzir óleo de alta qualidade, podendo ser usado como matéria-prima para a produção de biodiesel (Guerra e Fucks, 2010; Girardi et al., 2021).

No Brasil, o babaçu é considerado um produto nativo com integral aproveitamento, desde a folha até a semente (Santos et al., 2008). O babaçu apresenta grande potencial como matéria-prima para a produção de biodiesel, podendo ser uma opção para substituição parcial ou o uso como aditivo ao biodiesel de soja, pois, atualmente o óleo de soja é utilizado como matéria prima majoritária na produção de biodiesel (Girardi et al., 2021; ANP, 2023). A extração do óleo de babaçu tem passado por modificações nos últimos anos, sendo que o processo tradicional tem como base a mão de obra rudimentar (EMBRAPA, 2023).

De acordo com a ANP, Agência Nacional do Petróleo (2025), nos últimos anos pesquisas são aplicadas na utilização de blends e análise de emissões com biodiesel ao óleo diesel, com a finalidade de substituir parcialmente ou totalmente como combustível puro ou reutilizável. Entre os biocombustíveis, a emergência e a utilização do óleo de soja e seus constituintes conhecido como biodiesel comercial, vêm gradativamente proporcionando a redução de emissões de poluentes ao meio ambiente. Atualmente, o diesel comercializado no Brasil, nomeado de biodiesel B14, tem a mistura de 14% de óleo de soja, óleos diversos e gorduras na sua composição, conforme resolução do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE). A meta brasileira até 2030 é que alcance a marca de 20% de biodiesel comercial na mistura com o diesel.

A seleção de matérias-primas para a produção de biodiesel depende da sustentabilidade da cultura do mercado e da localização geográfica. A América do Norte e o Brasil têm produzido biodiesel a partir da soja, enquanto a Europa utiliza girassol e as Filipinas utilizam óleo de coco, similar ao óleo de babaçu (Cui e

Martins, 2017). Em uma pesquisa sobre biodiesel, a mistura de óleo de casca de babaçu 20% produziu menos poluentes em comparação com outras misturas, o que se aproxima mais dos valores do óleo diesel. As misturas de 20% de biodiesel produzidas a partir do éster metílico do óleo de Simarouba usado e do éster metílico do óleo de *Jatropha* mostraram que a eficiência térmica era quase a mesma do diesel (Abedin et al., 2014).

A literatura sugere que até 20% de biodiesel (B20) consiste em uma proporção de mistura mais aceitável aos combustíveis alternativos (Atmanli et al., 2016; Yilmaz et al., 2022). Poucos estudos abordam diversas misturas de biodiesel de babaçu em motores trazendo novidade acerca do assunto proposto. O objetivo da investigação viabilizada foi avaliar misturas e características do babaçu, assim como da soja ao diesel, sendo alimentado em motor monocilíndrico quanto ao desempenho e emissões sob diferentes cargas elétricas aplicadas ao gerador monofásico.

1.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho energético e emissões de um motor gerador de eletricidade com potência nominal de 3 kVA operando com biodiesel e misturas diesel e biodiesel, de soja e de matéria-prima a base de babaçu.

1.2 Objetivos Específicos

1. Avaliar a potência elétrica gerada;
2. Medir e registrar o consumo de combustível líquido com blendas (biodiesel/diesel);
3. Apresentar as emissões geradas pela combustão no motor.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Óleos vegetais

Os óleos vegetais são potenciais produtos para diversas aplicações industriais, são constituídos de ácidos graxos de espécies oleaginosas. Além da indústria alimentícia, os óleos vegetais ainda podem ser utilizados no setor farmacêutico, cosméticos e na produção de biocombustíveis (Ramos et al., 2017).

A Figura 1 demonstra a cadeia energética do óleo vegetal, desde a produção ao consumo final.

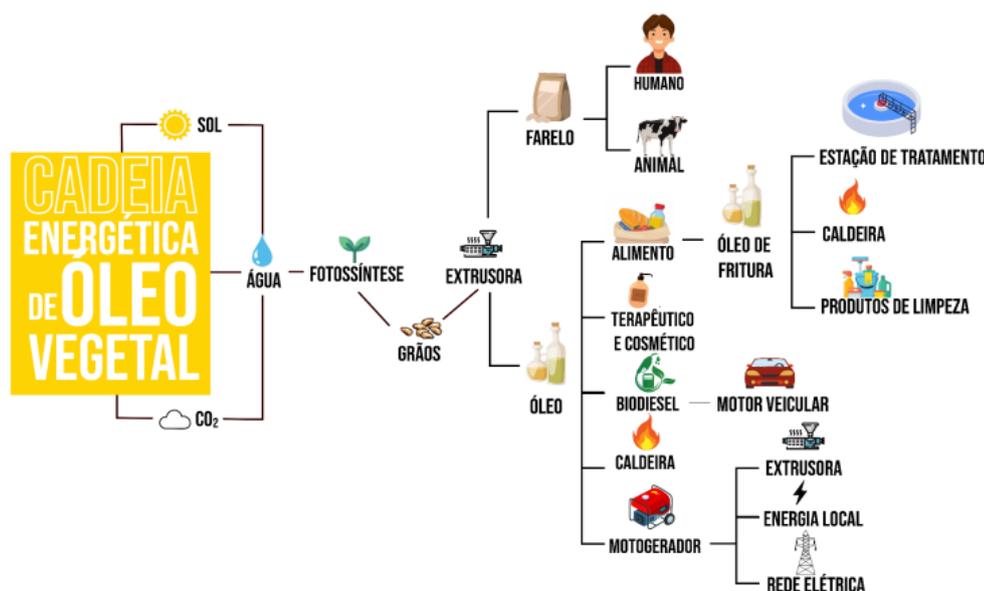


Figura 1. Cadeia energética do óleo vegetal

Fonte: Santos, 2023.

Óleos vegetais são quimicamente constituídos por triglicerídeos e gorduras. São extraídos de plantas e, geralmente, a partir de sementes, frutos, polpa, casca ou até mesmo do caule de diferentes espécies vegetais. Quimicamente as moléculas formadas por glicerol e ácidos graxos são compostas majoritariamente por triglicerídeos, ou seja, sendo insolúveis em água e solúveis em solventes orgânicos (Bassegio, 2016).

A estrutura química varia de 4 a 24 ligações de carbono (C), podendo ser saturadas e insaturadas, tendo ligações simples e compostas conforme o produto para os ácidos graxos saturados, o óleo de babaçu possui até 55 % de ácido láurico, enquanto o de canola abrange apenas 6,8 % de saturação. Os ácidos graxos no geral possuem até 22 carbonos, sendo comum aqueles com 12 e 18 carbonos, dentre os quais os saturados palmítico e esteárico, e os insaturados oleico, linolênico e linoleico (Virgens et al., 2017).

2.2 Biocombustíveis

A utilização de biodiesel de diversas fontes pode reduzir eficazmente a procura de combustíveis fósseis e mitigar as emissões de gases com efeito estufa. No entanto, a emissão de elevados óxidos de nitrogênio pelo biodiesel para a atmosfera e para além dela, tem impacto nos sistemas respiratórios dos seres humanos e, além disso, pela incidência dos raios solares sobre o Nox. Tal processo produz ozônio troposférico e, conseqüentemente, a chuva ácida (Vellaiyan, 2023).

Os biocombustíveis são aqueles que derivam da biomassa renovável, podendo substituir os combustíveis de origem fóssil (ANP, 2023). O biodiesel tem figurado como uma boa opção na substituição do diesel fóssil, e pode ser obtido a partir de recursos como óleos de algas, óleos microbianos, gorduras animais, óleos vegetais e óleos residuais (Talapatra et al., 2021). Os pesquisadores buscam um combustível que tenha baixo custo de produção, bom desempenho e que possa manter o bem-estar das pessoas.

2.2.1 Biodiesel

Previsões mostram que até 2040 os setores de transportes aumentarão 1,1% ao ano no uso absoluto de biodiesel. É uma forma realista de melhorar as questões ambientais e energéticas (Abdala et al., 2020). Os óleos comestíveis e não comestíveis de qualidade alimentar, como gordura animal e gordura vegetal, são transesterificados para produzir biocombustíveis com propriedades similar ao diesel (Sharma et al., 2019), sendo a utilização do biodiesel ambientalmente segura e que reduz as emissões de dióxido de carbono (Ranjan et al., 2016; Outili et al., 2020).

Os biodieseis produzidos atualmente podem ter suas matérias-primas divididas a partir de quatro gerações. A primeira geração é proveniente de óleos alimentícios, a segunda geração de óleos classificados como não comestíveis, a terceira geração inclui gordura animal e microalgas e a quarta geração combina matérias-primas geneticamente modificadas com microrganismos e bactérias (Oza et al. 2023). De acordo com os dados da ANP (2025), exibidos na Figura 2, a principal matéria-prima utilizada no Brasil nos últimos anos foi o óleo de soja acima dos 70%, seguido da gordura animal. O gráfico da figura mostra as proporções aplicadas ao biocombustível para o consumo final.

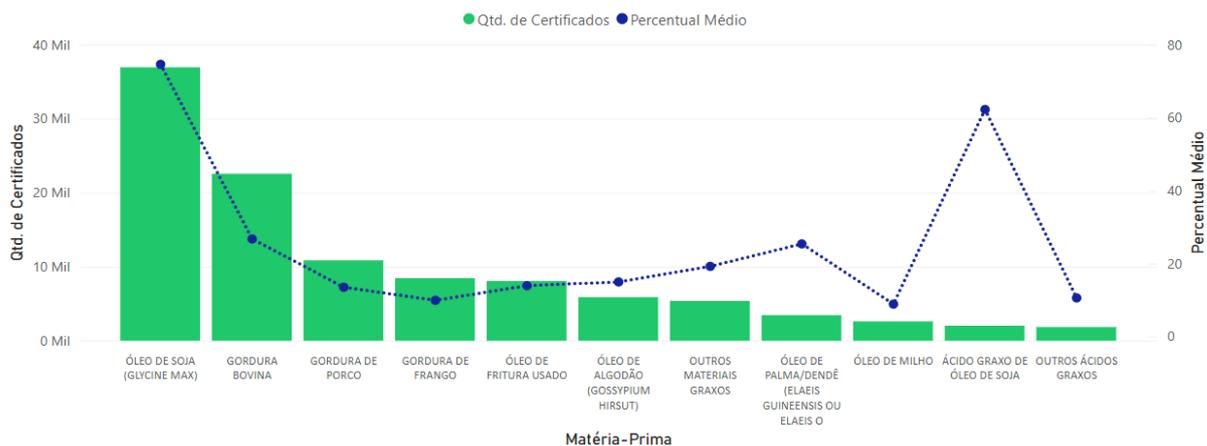


Figura 2. Média dos principais percentuais de matéria-prima na composição do biodiesel

Fonte: ANP (2025).

A resolução CNPE nº 14, de 8 de junho de 2017, da ANP, tendo suas principais diretrizes que definem o uso dos biocombustíveis na matriz energética, indica que um dos principais itens é de criar instrumentos de incentivos à inserção comercial dos novos biocombustíveis, priorizados pela análise de ciclo de vida e suas relações entre eficiência e emissões. Em relação aos combustíveis existentes no mercado, o biodiesel é apontado como uma grande opção, pois é um exemplo de biomassa para produção de energia que apresenta uma série de vantagens em relação ao diesel de petróleo. Para a ANP (2023), a produção de biodiesel no Brasil é dividida em regiões, tal como consta na Figura 3. Para melhor controle da capacidade e quantidade produzida, também para analisar os tipos de biocombustíveis que podem ser encontrados em cada região, como exemplo o biodiesel de babaçu proveniente da região do nordeste, e o biodiesel de soja que é produzido em todas as regiões do país.

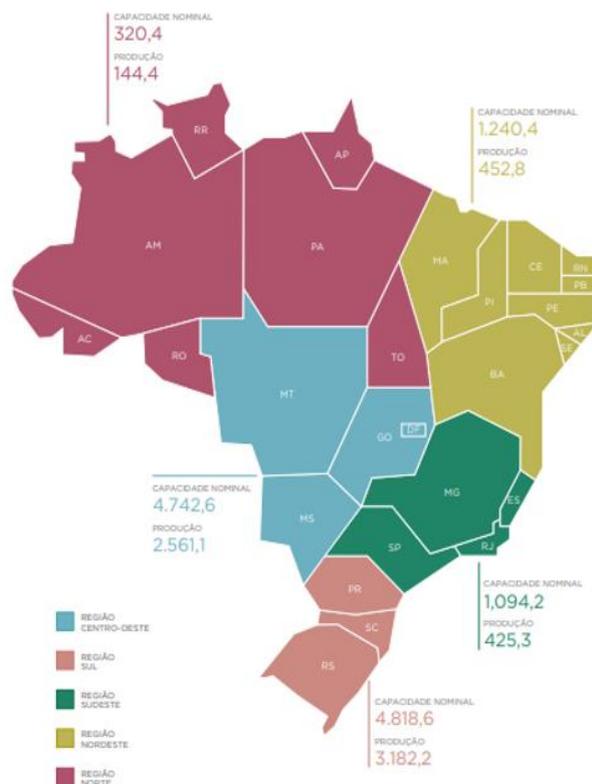


Figura 3. Capacidade nominal de produção de biodiesel (B100) em grandes regiões ($10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$)

Fonte: ANP/SPC (2023).

Em 2023, a produção de B100, Figura 3, que representa cem por cento de biodiesel, cresceu no país 6,8% em relação ao ano anterior atingindo o montante de 6,8 milhões de m^3 .

A densidade dos combustíveis líquidos é a razão entre o volume e a massa da substância. No biodiesel, pode variar entre 0,86 e 0,90 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ a 20 °C. O ponto de fulgor é a relação com a temperatura mínima, visto que um líquido é suficientemente vaporizado para criar uma mistura vapor e ar, que se inflamará se ocorrer ignição. Já o poder calorífico do combustível é definido como a quantidade de energia entregue pela unidade de volume ou massa. Uma vez que o combustível é uma medida da quantidade de energia, é desejável ter um alto valor de aquecimento. Além do mais, o valor do poder calorífico é proporcional a cadeia de hidrocarbonetos saturado. Na Tabela 1, são ressaltadas as propriedades físico-químicas dos combustíveis alternativos.

Tabela 1. Propriedades físico-química de biodiesel e diesel.

	Biodiesel Soja	Biodiesel Babaçu	Diesel
Viscosidade a 40° C (cSt)	4,4	3,9	2- 4,5
Densidade (g/cm ³)	0,92	0,88	0,82-0,85
Ponto de fulgor (°C)	172	112	38-60
Poder Calorífico Sup.(kJ/kg)	39.950	39.500	41.400 - 45.500
Número de Cetanos	56	65	48-56

FONTE: Adaptado de Guerra e Fuchs (2010); Krause (2008); Turchiello (2005); Delalibera (2014) e Lima, Silva e Silva (2007).

Diferentes condições operacionais e de processo, como tempo e temperatura de reação, proporção de metanol e a concentração do catalisador estão entre os fatores importantes na produção de biodiesel, bem como a importância da viscosidade, que é uma propriedade química levada em conta na utilização de óleos vegetais como combustível (Gonzalez et al., 2008). A alta viscosidade resulta aos combustíveis dificuldade de atomização na câmara de combustão para a ignição. O método mais utilizado para correção da viscosidade dos óleos vegetais é o pré-aquecimento deste combustível, para melhorar as condições de atomização (Knothe et al., 2011).

Um dos mais importantes indicadores de qualidade do combustível é o número de cetanos. É um parâmetro adimensional usado para correlacionar a ignição e o tempo de retardo de um combustível após a injeção na câmara de combustão. Por exemplo, em comparação com a gasolina - o número de cetano seria o equivalente a octanagem - um maior número de cetanos implica menor tempo entre injeção e autoignição, e está correlacionado com a exaustão de óxidos de nitrogênio NO_x reduzidos (ANP, 2023). Mesmo que o uso de biodiesel em motores de ignição por compressão usado como combustível alternativo libere mais emissões de dióxido de carbono, esse elemento químico pode ser absorvido pelas plantas no ciclo da fotossíntese. Portanto, os biodieseis não são avaliados como contribuidor do aquecimento global. Outra característica dos biodieseis é a maior densidade e menor compressibilidade em comparação ao diesel convencional (Zerrakki, Yesilyurt et al., 2020).

O biodiesel é constituído de óleos vegetais ou de gorduras animais. Ao produzir matéria-prima, o biodiesel é submetido ao processo químico de

transesterificação, que por meio de reações com metanol ou etanol, transforma os triglicerídeos presentes nos óleos e gordura animal em éster e glicerina. O principal fator que afeta a transesterificação é caracterizado pelas relações da glicerina com o álcool, relação catalítica, pressão e temperatura, reação do tempo e gordura livre, ácidos e água no óleo (Tanzer e Murat, 2016).

A reação de transesterificação tem papel importante na obtenção de biodiesel, pois a transesterificação consiste na transformação dos triglicerídeos do óleo vegetal ou animal, convertendo em biodiesel a partir de um processo químico catalítico. Nesse caso, o glicerol é separado dos ésteres do biodiesel formando duas fases, sendo a glicerina um coproduto da cadeia produtiva do biodiesel.

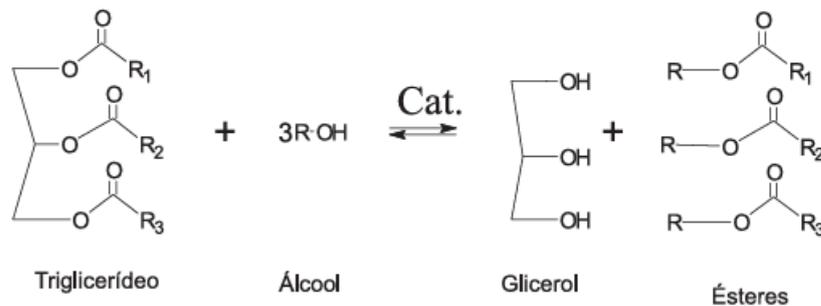


Figura 4. Processo de transesterificação

Fonte: Oliveira et al. (2012).

2.3 Coco Babaçu

O babaçu é nativo do Nordeste Brasileiro e contém uma boa quantidade de óleo, aproximados 45% do valor superior a outras tradicionais culturas utilizadas para produção de biodiesel no Brasil (LUZ et al., 2015). A produção média dos frutos de babaçu é de 2400 kg/ha, destes 1780 kg (74%) são respectivos a Endocarpo/Epicarpo 480 kg (20%) mesocarpo e 140 kg (6%) amêndoas, das amêndoas são aproximados 91 litros de óleo (Albiero et al., 2007).



Figura 5. O fruto do babaçu e seus componentes

Fonte: Tobasa (2023).

A palmeira de babaçu leva de 10 a 20 anos para produzir, bem como cada produção pode gerar até 500 frutos por palmeira (EMBRAPA, 2023). Segundo o IBGE, a produção brasileira de babaçu em 2018 foi em torno de 50 mil toneladas. A composição do babaçu é predominante de gordura ácida saturada, que proporciona nível reduzido de oxidação, tendo boas propriedades para produção de biodiesel (Moreira et al., 2018).

Em consequência nos últimos 10 anos, ocorreu a redução em 51% na extração do babaçu, que está relacionada com a facilidade de colheita de outras culturas mais promissoras para a indústria como, por exemplo, a palma e a soja (IBGE, 2020).

Nos últimos anos, a produção de babaçu vem caindo (Figura 6) devido às queimadas dos babaçuais e da privatização de setores produtivos. Os fatores relacionados com o aumento da demanda sobre a oferta ampliam o desinteresse pela extração causando, assim, a redução da mão de obra regional (CONAB, 2021).

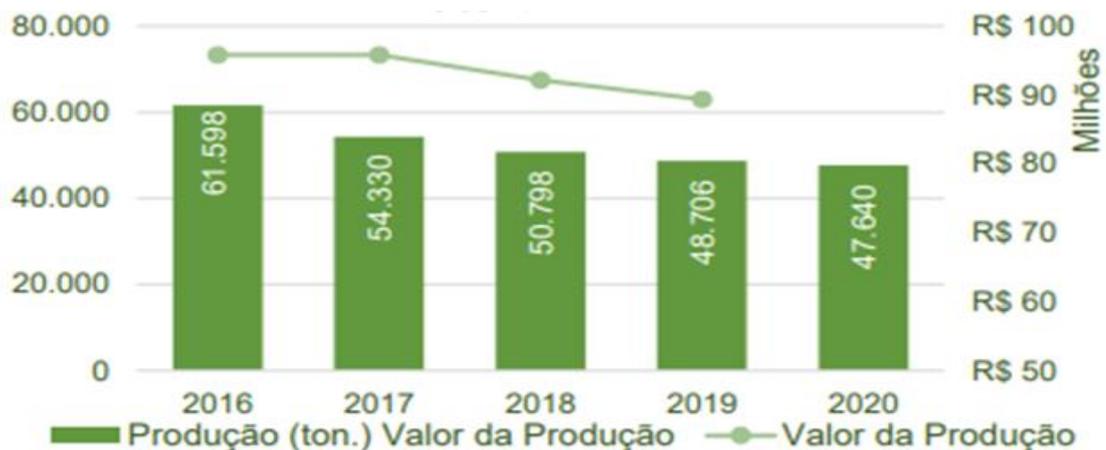


Figura 6. Volume e valor da produção de babaçu

Fonte: Conab (2021).

Apesar de o principal produtor da amêndoa de babaçu no Brasil ser o estado do Maranhão, e de outros estados produtores terem peso pequeno na produção nacional (Figura 7), a produção da amêndoa tem importância relevante na geração de renda de milhares de famílias que sobrevivem da quebra do coco babaçu (CONAB, 2021).

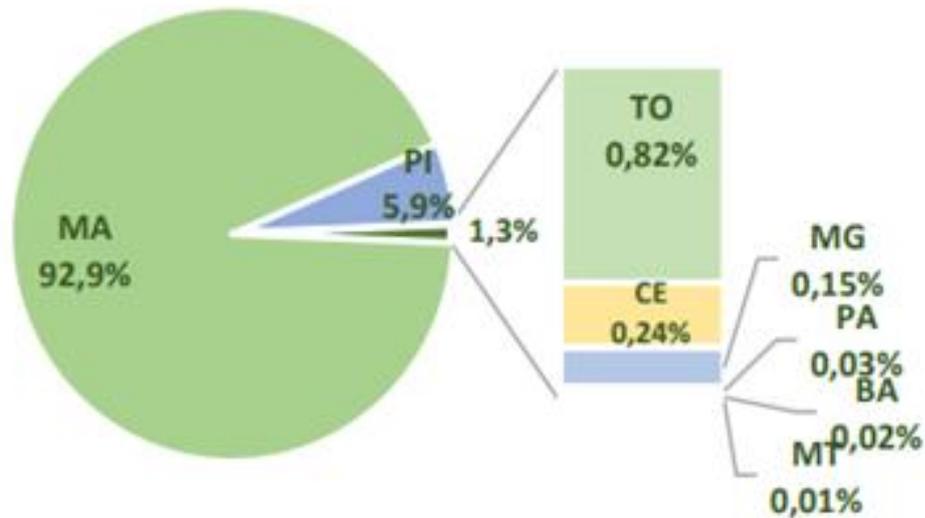


Figura 7. Produção de babaçu por UF

Fonte: Conab (2021).

Em conformidade com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), o babaçu é o recurso oleaginoso extrativista mais importante fornecido pelas florestas brasileiras. Além de uma aplicação valiosa de como a produção de aditivos e biolubrificantes, poderia aumentar o interesse para obtenção do óleo de babaçu, assim, transformar de cultura extrativista para cultura industrial (Moreira et al., 2018; Bezerra et al., 2020).

2.3.1 Processo de extração

Destaca-se o mecanismo de quebra do coco babaçu com uma nova tecnologia que está em fase final de validação pelas quebradeiras de babaçu. Com o uso desse sistema, é possível facilitar a extração das amêndoas do coco babaçu (Figura 8).



Figura 8. Mecanismo de quebra do coco babaçu

Fonte: EMBRAPA (2023).

Para o pesquisador José Mário Frazão, da Embrapa Cocais, a ferramenta reduz o esforço com o funcionamento por meio de alavancas, facilitando a atividade extrativista do coco babaçu, realizada geralmente por mulheres, sendo um equipamento de uso individual, acionado manualmente e acessível economicamente (EMBRAPA, 2023).

2.3.2 O óleo de babaçu comparado com o óleo de soja

O óleo de babaçu é constituído por ácidos graxos saturados e insaturados, tal como ilustra a Tabela 2. O ácido láurico (C 12:0) é predominante. É uma característica que facilita a reação de transesterificação, pois os ácidos láuricos possuem cadeias carbônicas curtas que permitem uma interação mais efetiva com o agente transesterificante, de modo que resulta em um produto com excelentes características físico-químicas (Lima et al., 2007).

Tabela 2. Ácidos graxos do óleo de babaçu e soja

Ácidos Graxos		Babaçu(%)	-	Soja(%)
C 8:0	Ácido Cáprico	2,6 - 7,3		-
C 10:0	Ácido Caprílico	1,2 - 7,6		-
C 12:0	Ácido Láurico	40 - 55		-
C 14:0	Ácido Mirístico	11 - 27		-
C 16:0	Ácido Palmítico	5,2 - 11		10 - 12
C 18:0	Ácido Esteárico	1,8 - 7,4		3 - 5
C 18:1	Ácido Oleico	9,0 - 20		18 - 26
C 18:2	Ácido Linoleico	1,4 - 6,6		50 - 58
C 18:3	Ácido Linolênico	-		6 - 9

Legisweb, adaptado da norma Anvisa (2024).

A viabilidade físico-química para a produção de energia a partir dos recursos da biomassa disponíveis aponta o babaçu como uma fonte sustentável para a geração de biocombustíveis (Żarska et al., 2014).

Já o óleo de soja, que é uma das principais matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel no Brasil e no mundo, devido à sua ampla disponibilidade, elevado teor de triglicerídeos e facilidade de transesterificação, tem o seu perfil com ácidos graxos, predominantemente insaturado, o que favorece boas características de fluidez ao biodiesel, embora possa comprometer a estabilidade oxidativa, é um biocombustível que apresenta um bom rendimento em níveis de emissões de hidrocarbonetos (Knothe, 2005; Canoira et al., 2010).

2.3.3 O biodiesel de babaçu

O biodiesel de babaçu possui boa estabilidade à oxidação devido à quantidade de ésteres saturados no óleo vegetal, sendo o miristato, palmitato e o laureato. O mesocarpo e o endocarpo, que são constituintes do babaçu, podem ser utilizados na produção de álcool, carvão e óleo vegetal (Santos et al., 2008).

Assim, o coco babaçu pode ser uma alternativa promissora para aumentar a diversidade de matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel. A seleção de matérias-primas para a produção de biodiesel depende da sustentabilidade da cultura, do mercado e da localização geográfica. Os EUA e o Brasil têm produzido biodiesel a partir da soja, ao passo que a Europa utiliza girassol e as Filipinas óleo

de coco (Cui e Martin, 2017). A mistura de óleo de casca de coco 20% produziu menos poluentes em comparação com outras misturas, o que está mais próximo dos valores do óleo diesel. Além disso as misturas de 20% de biodiesel produzidas a partir do éster metílico do óleo de simarouba usado e do éster metílico do óleo de *jatropha* mostraram que a eficiência térmica era quase a mesma do diesel (Abedin et al., 2014).

O uso do óleo do babaçu, transformado em biodiesel, com poder calorífico de 37.600 (kJ.kg⁻¹), pode trazer benefícios quando aplicado em blendas, com valores reduzidos junto ao diesel convencional. Os estudos no trabalho proposto demonstraram que o uso do biodiesel de babaçu, com blendas de 10, 15 e 20% respectivamente, resultaram em uma pequena redução na potência gerada com a propulsão do motor de ciclo diesel. Por outro lado, ocorreu uma redução significativa nos poluentes e particulados emitidos (Edwin et al., 2020).

A perspectiva de mais demandas pelo biodiesel a fim de substituir os combustíveis fósseis acaba induzindo a necessidade de buscar melhores matérias-primas, uma vez que o custo de produção do biodiesel é diretamente vinculado às matérias-primas do processo (De Brito et al., 2023).

A literatura sugere que até 20% de biodiesel (B20) caracteriza a proporção de mistura mais aceitável em misturas de combustíveis alternativos (Atmanli et al., 2016; Yilmaz et al., 2022). Poucos estudos abordam diversas misturas de biodiesel de coco babaçu em motores. Assim, o estudo proposto abordou esta teoria trazendo novidades.

2.3.4 O biodiesel de Soja

A soja constitui a maior parte da matéria-prima que alimenta a cadeia produtiva do biodiesel brasileiro, tendo em vista que aproximadamente 70% do biodiesel brasileiro é produzido a partir da soja. Atualmente, a soja tem a vantagem de atender a demanda interna de biodiesel e possui o preço mais competitivo em relação às demais matérias-primas (Cesar et al., 2019). Em relação à produção de óleo por hectare, a soja não é a opção mais atrativa para a produção de biodiesel, levando em conta o teor de óleo da semente em torno de 20% comparado ao de outras oleaginosas. A composição de ácidos graxos do óleo de soja, conforme a porcentagem, qualifica quanto às vantagens para a aplicação do biodiesel (Gongora et al., 2022). Tendo em mente que o uso do biodiesel de soja (B100) em um motor

diesel é viável, porém são verificadas perdas de até 10,7% no torque e diminuição na potência em 6,1%, quando comparadas ao funcionamento do motor com o óleo diesel (Volpato et al., 2009).

2.4 Lubricidade

A reação das emissões de SO₂ poderão formar a chuva ácida, bem como o aumento das emissões de particulados (ppm). No motor, resulta no aumento e no depósito de impurezas nos reservatórios e danos das peças do motor. No entanto, o enxofre com suas propriedades proporciona uma lubricidade eficiente.

A diminuição ou falta de lubrificação causa a redução da eficiência e da vida útil dos motores. As normas de proteção ambiental da Environmental Protection Agency (EPA) estabeleceram a redução de emissão de particulados abaixo de 10 ppm em 2010. Enquanto a redução de SO₂ traz benefícios quanto às emissões, ela também pode causar problemas no tocante à má lubrificação em superfícies de atrito em motores a combustão (Yesilyurt et al., 2020). A vida útil do motor pode ser melhorada devido ao uso do biodiesel babaçu como aditivo ou combustível alternativo, pois possui propriedades lubrificantes que aumentam a vida útil do conjunto mecânico do motor. O biolubrificante à base de óleo de babaçu, caracterizado químicamente como aditivo, obteve bons resultados, visto que o babaçu tem baixo índice de oxidação (Bezerra et al., 2020; Delgado et al., 2021).

2.5 Ponto de entupimento do Biodiesel

O biodiesel de coco babaçu tem ponto de entupimento de aproximados -5°C, seu valor se deve a estrutura saturada que pode conduzir ao entupimento do combustível a temperaturas abaixo de 1 °C. A literatura apresenta o biodiesel de soja com o ponto de entupimento em aproximados -9°C, sendo a sua estrutura insaturada, tendo alguns ácidos diferenciados e sua estrutura carbônica com mais ligações. Assim, as propriedades dos biodieseis são afetadas com as baixas temperaturas, elevando a viscosidade dos combustíveis (Liu 2015 e LACAUT Lab., 2023).

2.6 Motor ciclo Diesel

O motor ciclo diesel é constituído por sistema mecânico que converte um movimento linear em rotação. A rotação é estimulada pelo aumento da pressão resultante da combustão, proporção estequiométrica na câmara do cilindro, com a combustão movimentando o pistão e o virabrequim (Figura 9).

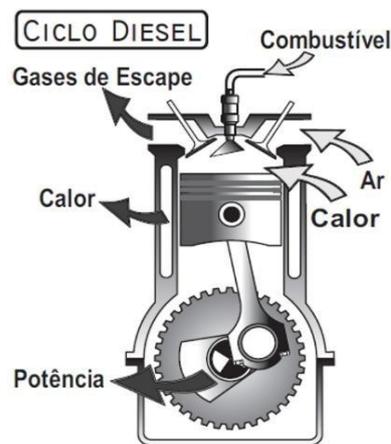


Figura 9. Motor ciclo diesel

Fonte: Manavella. (2016).

O movimento é transmitido para o sistema de biela em forma de rotação, ao passo que o pistão executa os estágios de admissão, compressão, exaustão e potência resultante. Assim, a energia química do combustível é convertida em energia mecânica por meio de combustão resultando em potência (Moran et al., 2013).

A injeção de combustível em motores diesel é desenvolvida por meio de uma bomba injetora em conjunto com os bicos e elementos de injeção. A injeção direta dos combustíveis é muito utilizada em motores de baixa potência, devido à sua simplicidade de construção e eficiência. De acordo com as diferentes propriedades químicas de densidade e viscosidade dos biocombustíveis, a resultante da combustão pode variar e os combustíveis com menor viscosidade acabam por apresentar uma melhor eficiência em comparação aos combustíveis com maior viscosidade, características que são mostradas com experimentos de consumo e combustão entre biocombustíveis de soja e mamona por Marques et al. (2024).

2.7 Gerador monofásico

Moto geradores são utilizados em muitos setores urbanos, rurais e na agroindústria. Tal equipamento permite o fornecimento de energia elétrica podendo ser acionado continuamente e desligado em momentos de baixo consumo, sendo auxiliado por um banco de baterias estacionárias e movido por motor a combustão ciclo Otto ou ciclo Diesel. Os principais componentes do gerador são o rotor e o estator, formados por suas armaduras e seus enrolamentos elétricos, utilizando ímãs auto excitados ou permanentes (Fitzgerald, 2014).

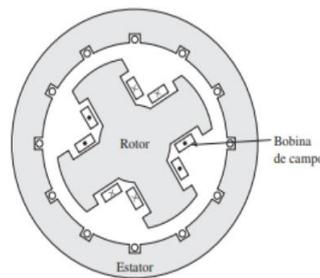


Figura 10. Gerador de quatro polos
Fonte: Fitzgerald (2014).

A frequência e a tensão gerada por um gerador CA depende da intensidade do campo e da velocidade do rotor. A f.e.m (força eletro motriz) tensão gerada ou induzida é controlada por meio do campo magnético excitado. A frequência da f.e.m gerada depende da quantidade de polos elétricos e da velocidade do rotor, como mostra a Equação 1 (Chapman, 2013).

$$f = \frac{p.n}{120}$$

Equação (1)

onde:

f → frequência da tensão gerada, Hz;

p → número total de polos da máquina;

n → velocidade do rotor, rotações por minuto (rpm).

Por exemplo, um gerador monofásico com dois polos e velocidade de 3600 (rpm), apresentará uma frequência relativa de 60 Hz.

2.8 Emissões

Substâncias nocivas à saúde estão presentes nas emissões referentes à combustão em motores ou em queimadas de vegetação, incluindo a emissão de acroleína de fórmula química C_3H_4O , resultante da queima de óleos *in natura* nos motores a combustão ciclo diesel (Cahill e Okamoto, 2012).

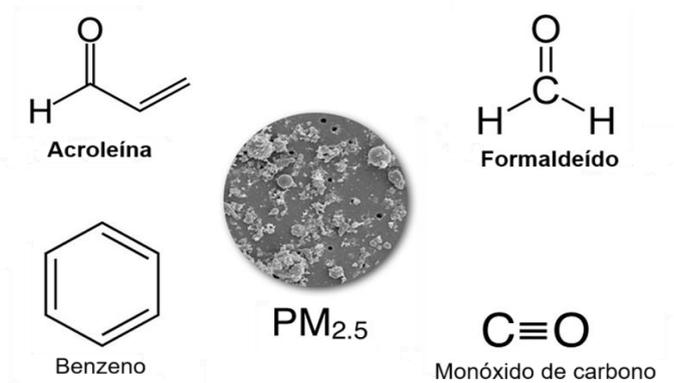


Figura 11. Substâncias presentes na combustão

Fonte: Harvard, 2025.

A irritação nos pulmões é causada pela inalação do monóxido de carbono que pode ser prejudicial em altas concentrações. Existem também outros componentes e particulados que podem até causar câncer. Os particulados (PM) que têm um diâmetro aproximado de 2,5 microns são resultantes das emissões de motores a combustão (Figura 12).

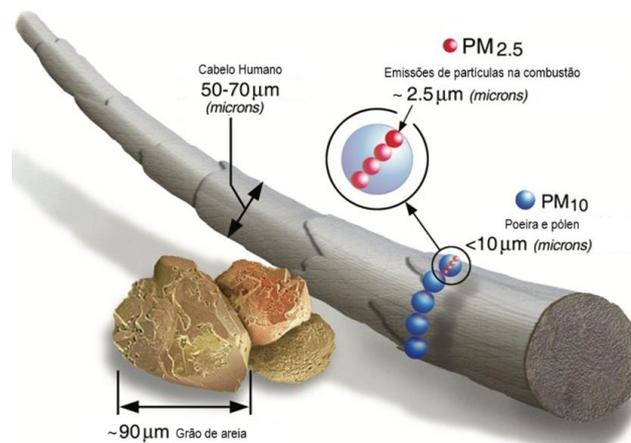


Figura 12. Representação dos particulados com referência a um fio de cabelo

Fonte: EPA, 2025.

Pesquisas mostram que a inalação de particulados ao longo dos anos pode causar problemas de saúde como ataques cardíacos, câncer de pulmão e até derrames cerebrais, sendo essa exposição a quarta causa de mortes no planeta (WHO, 2025).

As emissões de gases em motores a combustão são classificadas por emissões de poluentes e particulados. Com o propósito de mitigar os efeitos dos biodieseis nas emissões de NO_x e CO, produtos alternativos com aditivos estão sendo aplicados aos biocombustíveis. Uma aplicação com biodiesel de soja e blendas junto ao diesel fóssil tiveram reduções de particulados em até 80%. Todavia, as emissões de NO_x e CO aumentaram (Gongora et al. 2022).

A opacidade da fumaça é diminuída com o aumento de biodiesel junto ao diesel comercial, as emissões de particulados são atenuadas com a utilização de blendas em proporções variadas em motores ciclo diesel. Experimentos com biodiesel de cártamo e diesel fóssil, em até 50% de mistura de biodiesel, proporcionaram os melhores resultados em questão às emissões (Ilkilich et al., 2011).

Existem motivos para as reduções nas emissões de particulados com o uso de biodiesel, sendo a molécula de oxigênio existente na composição do biodiesel que possibilita uma melhor combustão. Emissões de particulados na combustão do diesel consistem principalmente na formação de material carbonáceo, sendo o carbono impuro restrito às partículas residuais de combustível pirolisado que são resultado da combustão incompleta de hidrocarbonetos (Eirich et al., 2013).

2.9. Emissões de óxido de nitrogênio (NO_x) relacionadas ao número de cetano (CN)

A inalação de ozônio é prejudicial aos nossos pulmões. Quando o ozônio entra em contato com os nossos pulmões, causando inflamação e tornando difícil a respiração, causa sérios problemas para as pessoas que sofrem de asma e bronquite (WHO, 2025).

O ozônio é formado quando existe a combustão de diesel fóssil: forma o NO_x na atmosfera, com as emissões de Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs), e quando expostos aos raios solares ultravioleta, assim, tornando presente o ozônio (EPA, 2025).

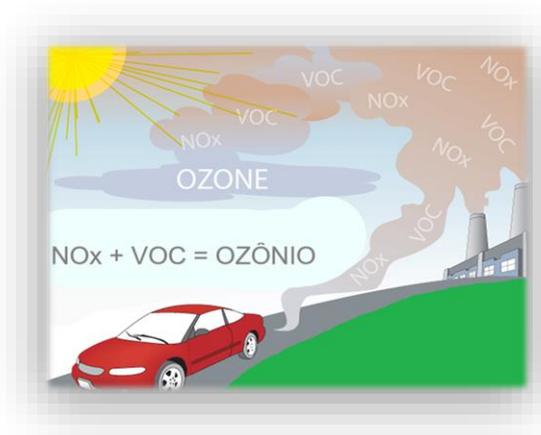


Figura 13. Reação e formação de ozônio

Fonte: EPA (2025).

Os combustíveis biodiesel de comprimento de cadeia mais curta queimarão com atrasos de ignição (Sahoo e Das., 2009), tendo um efeito profundo nas emissões de NO_x, aumentando a densidade e produzindo emissões mais elevadas de NO_x (Varghese et al., 2022). A formação de NO_x em motores diesel depende da insaturação, da densidade e do índice de cetano do biodiesel (Fernando et al., 2006, D'Ambrosio et al., 2014., Shair et al., 2015). Os maiores graus de saturação estão relacionados ao maior número de cetano, ao passo que o biodiesel sem ligações duplas é conhecido como saturado produzindo menor quantidade de NO_x que os combustíveis insaturados (Bakeas et al., 2011; Varghese et al., 2022).

Determinado pela norma ASTM D6890, o número de cetano é definido como uma medida do desempenho dos combustíveis, tendo como parâmetros de definição o tempo de combustão, ésteres, comprimento de cadeia e inflamabilidade. Quanto maior o número de cetano, melhor será a combustão e o rendimento do motor, (Candeia et al., 2009). Melhorar o desempenho do motor e as características ideais de partida a frio com menos fumaça requer um alto índice de cetano (Dwivedi e Sharma, 2014). Entretanto, existe um limite do número de cetano para ser utilizado em motores a combustão, pois o número de cetano em combustíveis, especialmente em óleo diesel, pode variar entre 40 e 60. Os combustíveis com número de cetano mais alto tendem a ter uma ignição mais rápida e eficiente, enquanto números mais baixos podem causar atrasos na ignição e possíveis problemas no motor (ANP, 2023).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Microgeração Química e de Energia Elétrica da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE, Cascavel/PR, com extensão em Toledo/PR, Brasil).

3.2 Caracterização dos combustíveis

Foram avaliados parâmetros de desempenho operacional de um conjunto motor gerador de potência elétrica nominal de 3.000 W, utilizando-se biodieseis a base de óleo de babaçu e soja em ensaios com triplicatas. Diferentes combustíveis foram manipulados em proporções com o óleo diesel S10 puro denominado (B0), sendo que o diesel utilizado é um produto comercializado na distribuidora de combustível local (Tabela 3).

Tabela 3. Análise das propriedades do diesel S10 tipo A.

Ensaio com metodologia da ASTM	Resultados
Aspectos	Límpido e Isento de Impurezas
Cor	Amarela
Massa Específica	835,4 kg/m ³ a 20 °C
Viscosidade Cinemática	2,7 mm ² /s
Ponto de Fulgor	55,5 °C
Condutividade Elétrica	75 pS/m
Teor de Água por K.F.	79 mg/kg
Enxofre Total	4,9 mg/kg
Número de Cetano	50
Índice de Acidez Total	0,02 mg KOH/g
Água Sedimentos % (BSW)	Ausente

Fonte: Repar laboratório (2023).

A bancada de testes para o desenvolvimento das medições referentes ao conjunto motor gerador e aparelhos de medição e acionamentos elétricos, ocorreu sob diferentes níveis de cargas resistivas, controlando a potência ativa com resistências elétricas fornecida por meio de acionamentos com comando ao sistema a partir de quadro elétrico, composto por cinco cargas elétricas: 500, 1.000, 1.500,

2.000 e 2.500W, bem como aplicação de blendas de combustíveis.

3.2.1 Produção do biodiesel

Os biodieseis de babaçu e soja foram obtidos por reação de transesterificação, tendo hidróxido de sódio (NaOH) como catalisador (1% do peso do óleo) e metanol com (25% do volume do óleo). Primeiro, o metanol e o (NaOH) foram misturados vigorosamente por 10 a 25 min. Segundo, o metóxido de sódio formado foi misturado com óleo em um frasco de fundo redondo, agitado continuamente por até 3 horas sendo mantido a uma temperatura de 60 °C.

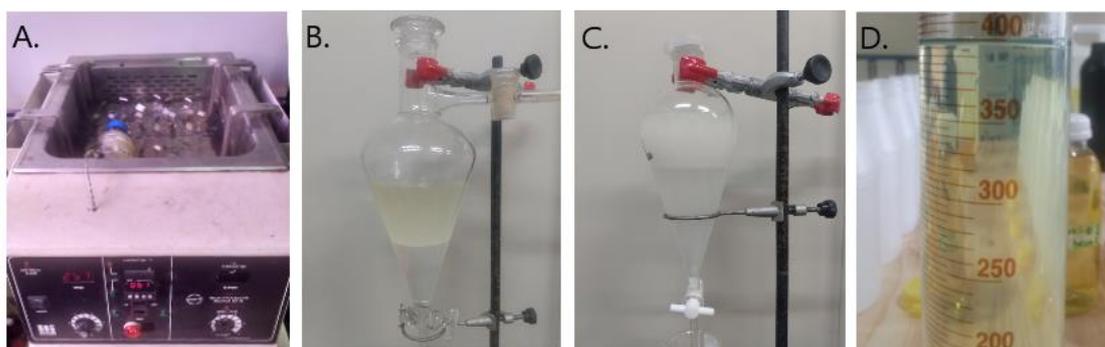


Figura 14. Processo de mistura do óleo de babaçu e álcool metílico (A), glicerol na mistura (B), processo de lavagem do biodiesel de babaçu (C) e do biodiesel produzido para mistura com diesel (D)

Fonte: Autor (2025).

Com o término da reação, o misturador foi desligado para a decantação e separação da glicerina. Extraídas as glicerinas, os biodieseis foram lavados com água destilada em funil de separação.



Figura 15. Amostras dos combustíveis para os ensaios

Fonte: Autor (2025).

Após a síntese do biodiesel, as blends de combustível líquido levaram as seguintes nomenclaturas: B10 (10% de biodiesel e 90% de diesel comum); B15 (15% de biodiesel e 85% de diesel); B20 (20% de biodiesel e 80% de diesel comum); B100 (biodiesel puro) e B0 D100 (100% de diesel S10) (Tabela 4).

Tabela 4. Combustíveis utilizados no experimento.

Nome	Composição
B10 S	Mistura de biodiesel de soja e 90% diesel
B15 S	Mistura de biodiesel de soja e 85% diesel
B20 S	Mistura de biodiesel de soja e 80% diesel
B10 B	Mistura de biodiesel de babaçu e 90% diesel
B15 B	Mistura de biodiesel de babaçu e 85% diesel
B20 B	Mistura de 20% de biodiesel de babaçu e 80% diesel
B100 S	100% de biodiesel de Soja
B100 B	100% de biodiesel de babaçu
B0 D100	100% de óleo diesel S10

Fonte: Autor (2025).

As misturas foram submetidas a um teste do poder calorífico superior (PCS), utilizando uma bomba calorimétrica E2K (Figura 16), localizada no Laboratório de Biocombustíveis da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus Toledo / PR.



Figura 16. Bomba Calorimétrica

Fonte: Autor (2025).

O poder calorífico foi determinado a partir do poder calorífico superior (PCS) (kJ/kg), registrado conforme o dispositivo de medição da bomba calorimétrica.

3.3 Descrição geral do experimento

Na execução do experimento, foi utilizado um analisador de Gases,

multímetro digital, viscosímetro, equipamentos em geral do laboratório de química, motor diesel com gerador e um banco de resistências.

Para simular o consumo de energia elétrica, foi utilizado o banco de cargas resistivas composto por sete resistências (2 de 500 W, 2 de 1000 W e 3 de 2000 W) com tensão de alimentação de 220 V em corrente alternada (Figura 17).



Figura 17. Banco de cargas resistivas, sendo à esquerda o quadro com instrumentação para medição das grandezas elétricas e, à direita, as diversas resistências

Fonte: Autor (2025).

Foi utilizado um motogerador da marca Branco para fornecer energia elétrica para o quadro de resistências elétricas, que operou sob as seguintes proporções volumétricas com óleo diesel mineral S10 e biodiesel: 0% (B0), 10% (B10), 15% (B15), 20% (B20) e 100% de biodiesel (B100). O motor diesel do sistema tem a capacidade de potência de 7,0 HP, com gerador elétrico acoplado de 3,3 kW (Figura 18).



Figura 18. Conjunto Motor Gerador

Fonte: Catálogo Branco Geradores (2025).

Tabela 5. Especificações técnicas conjunto motor gerador Branco, Mod. BD 4000.

Motor	
Tipo	Monocilíndrico, refrigerado a ar, 4 tempos, diesel
Potência máxima	7Hp, 3600 rpm
Combustível	Diesel
Capacidade do tanque	11 litros
Gerador	
Tipo	Monofásico - 2 polos
Frequência	60 Hz
Potência máxima	3,3 kW
Potência nominal	3,0 kW
Tensão	220V

Fonte: Catálogo Branco Geradores (2025).

3.3.1 Medição da viscosidade cinemática

Para os ensaios da viscosidade cinemática dos combustíveis, foi utilizado um viscosímetro capilar de 75 mL Cannon-Fenske. No ensaio, o viscosímetro foi mantido sob água em uma temperatura de 40°C (Figura 19). O cronômetro digital foi utilizado para o registro do tempo de escoamento do combustível e registrado em planilha eletrônica, com referência no menisco superior ao menisco inferior. Para as amostras de combustíveis, foi mantido o padrão de triplicata.



Figura 19. Ensaio da viscosidade cinemática

Fonte: Autor (2025).

Para a viscosidade cinemática:

O valor da viscosidade cinemática foi expresso em $\text{mm}^2.\text{s}^{-1}$ ou cSt (centistoke).

$$v = C.t \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

v = viscosidade cinemática em $\text{mm}^2.\text{s}^{-1}$ ou cSt (centistoke);

$C = 0,008$ - Constante de calibração do viscosímetro ($\text{mm}^2.\text{s}^{-1}$);

t = Tempo de escoamento do combustível (s).

Para Schlosserl et al. (2008), as propriedades físico-químicas se alteram mediante variações de temperatura. O aquecimento de combustível e seus ésteres proporcionam uma melhor viscosidade. Assim, em seus ensaios com o uso após aquecido, o motor apresenta valores médios de torque e potência superiores.

3.3.2 Multímetro de grandezas elétricas

Para registro da energia gerada, foi utilizado um multímetro de grandezas elétricas da marca Minipa modelo DT 362C. Foram encontradas as seguintes unidades: corrente elétrica (A), tensão elétrica (V) e temperatura ($^{\circ}\text{C}$).



Figura 20. Multimetro de grandezas elétricas

Fonte: Minipa (2024).

Tabela 6. Características Técnicas do multímetro.

Descrição	
Tensão de alimentação	9 VDC
Precisão Tensão	0,5%
Precisão Corrente	0,5%
Fator de Potência	1%
Tensão de medição	127V, 220V, 380V
Termopar Tipo K	-20 a 1000 °C
Frequência	50/60Hz

Fonte: Manual Minipa (2024).

Registrou-se a variação da energia elétrica gerada, conforme os acionamentos elétricos mostrados em planilha eletrônica, bem como a potência ativa em watts. Estas potências são valores resultantes da tensão elétrica multiplicada pela corrente elétrica que o gerador fornece conforme as cargas foram comutadas e variadas no quadro de resistências elétricas.

3.3.3 Consumo específico

Motores que utilizam combustíveis e resultam em baixo consumo específico são mais eficientes, pois conseguem realizar a mesma quantidade de trabalho com menos combustível. Isso é vantajoso por diversas razões:

- Economia de combustível: tem-se menos custo com combustível;
- Menor impacto ambiental: menor emissão de gases poluentes;
- Melhor desempenho: um motor eficiente pode ter melhor desempenho, como maior potência ou aceleração.

A NBR ISO 3046/1 determina o consumo específico de combustível que é caracterizado pelo consumo por unidade de energia ($\text{gGW}^{-1}\text{h}^{-1}$). Cada combustível pode ser determinado mediante o consumo mássico (g). Foi este obtido pelo peso da carga, com o uso de uma balança de precisão com duas casas decimais (Figura 21).



Figura 21. Balança Marte As5000, para o peso dos combustíveis
Fonte: Autor (2025).

A balança tem uma capacidade de 5 kg e medição de até três casas após a virgula, podendo ter variação de 0,5% do peso medido.

Os consumos nas distintas condições de cargas resistivas fornecem o consumo específico do combustível (C_e) em $\text{g.GW}^{-1}.\text{h}^{-1}$. De acordo com a equação (3), tem-se a informação do consumo específico das amostras de combustíveis referente aos ensaios de consumo.

$$C_e = (m_i - m_f) / \text{Pelétrica} \cdot t \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

C_e = consumo específico do combustível, $\text{g.GW}^{-1}.\text{h}^{-1}$;

m_i = massa de combustível no início do ensaio, g;

m_f = massa de combustível no término do ensaio, g;

Pelétrica = potência gerada, kW;

t = tempo de consumo (h).

Silveira et al. (2022) mencionam que, o consumo de combustíveis é definido por meio de um medidor volumétrico, constituído por uma proveta graduada interligada ao bico injetor do motor por meio de tubo de condução líquida (Figura 22). O período de cada teste foi registrado por cronômetro digital, obtendo-se o

consumo dos combustíveis em gramas indicados no visor da balança.



Figura 22. Motogerador com proveta e mangueira adaptados para desenvolvimento dos ensaios nos anos de (2023, 2024 e 2025)

Fonte: Autor (2025).

3.3.4 Eficiência energética

A eficiência dos combustíveis foi encontrada em conformidade com os testes de consumo instantâneo que provem dos dados do poder calorífico das amostras e com as resultantes das cargas elétricas aplicadas ao motor diesel. A referida eficiência foi obtida com a equação 4 (Roy, Wang e Bujold, 2013).

$$EE = \{3600 / (PCI \times CE)\} \times 100 \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

EE – Eficiência energética (%);

PCI – Poder calorífico inferior (KJ.kg^{-1});

CE – Consumo específico do combustível (g.kW h^{-1});

3600 – Fator de conversão.

Cálculo do poder calorífico inferior necessário para o cálculo da eficiência do conjunto motor gerador.

Onde:

$$PCI = PCS - 3.052; \quad \text{Equação (5)}$$

PCI - poder calorífico inferior (MJ Kg^{-1});

PCS - poder calorífico superior (MJ Kg^{-1}).

3.3.5 Determinação do consumo em volume

Para controle do consumo de combustível no funcionamento do motor, utilizou-se uma proveta graduada para fornecer combustível ao sistema.



Figura 23. Proveta graduada

Fonte: Autor (2025).

Com o uso da proveta, balança e um cronômetro, registrou-se o volume consumido pelo tempo (t). Como o acionamento do motogerador diesel e com o sistema acoplado em uma proveta graduada, começaram as alterações de nível de combustível. Com isso o registro foi executado em planilha. Foram identificados os consumos instantâneos de cada combustível e suas referidas blendas, consoante as cargas elétricas acionadas por meio do painel acoplado às resistências elétricas.

3.3.6 Densidade a 20°C

Com as amostras de biocombustíveis a 20°C, foi utilizado o método para identificar a densidade dos combustíveis com auxílio do picnômetro, definido como um medidor volumétrico com eficácia para determinar a densidade de substâncias líquidas. O medidor tem capacidade volumétrica de 10,0 ml e tolerância de $\pm 0,02$ ml a 20°C. Primeiro o picnômetro é pesado para subtrair o valor da sua massa das amostras dos biocombustíveis. Para medição da massa das amostras, foi utilizada uma balança de precisão da marca Sartorius, modelo BP221, com resolução de 0,001g (Figura 24).



Figura 24. Ensaio de densidade com picnômetro
Fonte: Autor (2025).

As amostras foram mantidas em temperatura de 20°C. As massas das amostras foram determinadas a partir da equação 6, descrita conforme (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

$$V_p = \frac{\Delta m}{d} \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

V_p = Massa das amostras;

Δm = diferença de massa do picnômetro vazio e cheio;

d = densidade da água.

3.3.7 Índice de acidez

Os índices de acidez dos combustíveis de babaçu e soja são valores importantes para a caracterização do biodiesel, podendo o excesso de ácidos graxos livres, com o uso de catalisador, causar reações de saponificação diferentes da reação de transesterificação. Os ensaios foram desenvolvidos conforme o método: A.O.C.S. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists Society (AOCS - Ca 5a40) no LACAUT, laboratório de química localizado na Universidade Federal do Paraná Campus de Curitiba – PR.

Para a caracterização do biodiesel, determinou-se o teor de ésteres metílicos da amostra para verificar a conversão dos ácidos graxos. Esse ensaio foi executado de acordo com norma técnica oficial EN 14103.

3.3.8 Análise das emissões

As emissões de gases e particulados, foram identificadas utilizando o analisador da marca Saxon Junkalor GmbH, model ELD Infralite D-06846.

A análise dos gases de combustão gerados no ensaio do conjunto motor gerador foi operada com o analisador portátil (Figura 25). O aparelho possui sensores eletroquímicos capazes de realizar a medição de emissões de oxigênio (O₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxido de nitrogênio (NO_x), hidrocarboneto (HC), além de realizar a leitura da temperatura. Possui limite de erro de $\pm 5\%$ para a leitura de emissões e $\pm 0,5\%$ para a medição de temperatura do óleo do motor.



Figura 25. Analisador portátil de gases da combustão

Fonte: Saxon Junkalor (2020).

Durante os ensaios das emissões, foi inserida a sonda no escape do motor para coleta da amostragem dos gases de exaustão do conjunto motor gerador (Figura 26).



Figura 26. Coleta da emissão dos gases

Fonte: Autor (2025).

Tabela 7. Especificação técnica do analisador de gases.

Medidas	Amplitude	Precisão
CO	0-2000 ppm vol	± 0.5%
HC	0-2500 ppm vol	± 0.5%
NO	0-2500 ppm vol	± 0.5%
O ₂	0-22 % vol	± 0.3%
NOx	0-3000 ppm vol	± 0.5%

Fonte: Adaptado Saxon (2024).

A banca de teste foi realizada com o conjunto de equipamentos designados para medição e registro das propriedades físicas e químicas do conjunto gerador ciclo diesel (Figura 27).

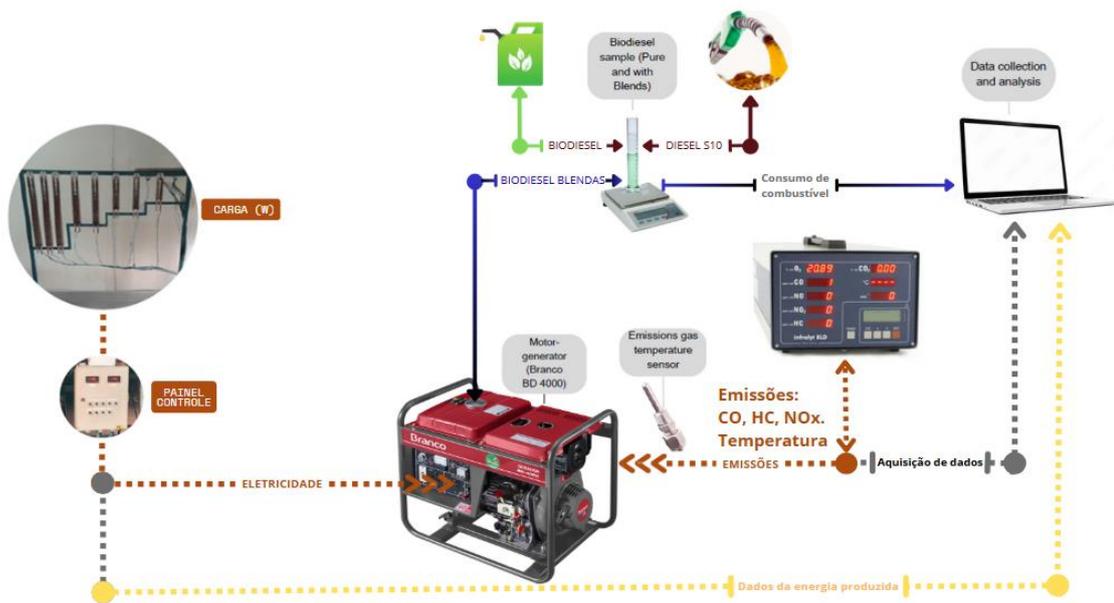


Figura 27. Diagrama esquemático do sistema utilizando um gerador ciclo diesel com cargas de resistência elétrica e consumo de combustível.

Fonte: Autor (2025).

3.3.9 Limites de emissões

Devido ao aumento das preocupações e imposições de limites pelos governos de vários países, foi necessário estipular padrões de emissões dos gases prejudiciais à saúde e ao meio ambiente. A Administração de Segurança e Saúde Ocupacional (OSHA) estabeleceu a Permissibilidade de Limite de Exposição (PEL) para CO₂ de 5.000 partes por milhão (ppm) (0,5% CO₂ no ar) em uma média de 8 horas de trabalho por dia (time-weighted average ou TWA). Com esses limites, espera-se chegar a um maior controle dos níveis de poluentes no ar, porém é notório que os países mais poluidores aceitam trabalhar com o objetivo de diminuir os níveis atuais (Aydın, et al., 2020).

3.4 O monóxido e dióxido de carbono

Em uma combustão completa, o carbono proveniente do combustível utilizado, reage totalmente com o oxigênio disponível, liberando dióxido de carbono (CO₂), além de água (H₂O). Para que isso aconteça, duas reações ocorrem:

- Reação de $C + \frac{1}{2} O_2 = CO$;
- Reação de $CO + \frac{1}{2} O_2 = CO_2$.

A combustão incompleta é representada pela fase intermediária da combustão completa, ou seja, resulta na formação de hidrocarbonetos, de Monóxido de carbono (CO) e até de Carbono (C), conhecido como fuligem (Sakthivel, et al., 2014). Geralmente, a combustão incompleta ocorre por alguns fatores:

- Presença insuficiente de oxigênio;
- Temperatura não ideal para a reação química completa;
- Tempo insuficiente dos gases dentro da câmara.

No entanto, para que a formação da combustão seja completa, depende obrigatoriamente da passagem pela combustão incompleta, mesmo que temporária (Erdogan, et al., 2020).

3.4.1 Espectroscopia de Infravermelho

A espectroscopia de infravermelho foi realizada com acessório de ATR (Refletância total atenuada) e teve o objetivo de verificar as vibrações moleculares dos principais grupos funcionais presentes. Aplicou-se, para este fim, um espectrômetro de infravermelho FTIR da Perkin Elmer, modelo Frontier, com resolução de 2 cm⁻¹ e varreduras sucessivas na faixa 600 a 4000 cm⁻¹.

3.4.2 Análise estatística

Para a análise estatística dos resultados dos experimentos em triplicata com o uso do biodiesel de babaçu, utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC). Para o biodiesel de soja e suas emissões, utilizou-se (DBC) e

barras com os desvios padrão em cada ponto do gráfico. Os blocos foram definidos pelas misturas B0, B10, B15, B20 e B100, ao passo que as variáveis foram analisadas individualmente. Os grupos das amostras foram representados em gráficos e os mais significativos foram revelados com os valores de Coeficiente de Variação (CV) em porcentagem na parte superior de cada bloco. Os dados das emissões de gases foram submetidos à análise de variância com 5% de significância, sendo comparadas as médias dos tratamentos utilizando o software livre Sisvar 5.8. O programa Sisvar foi utilizado para o desenvolvimento da Anova e teste Tukey, sendo que seus resultados estatísticos detalhados estão exibidos nos Apêndices da tese.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Espectro Infravermelho do óleo e biodiesel de babaçu

Foram submetidas as amostras de óleo e biodiesel de babaçu no infravermelho, assim, traçando os gráficos relativos as características dos produtos.

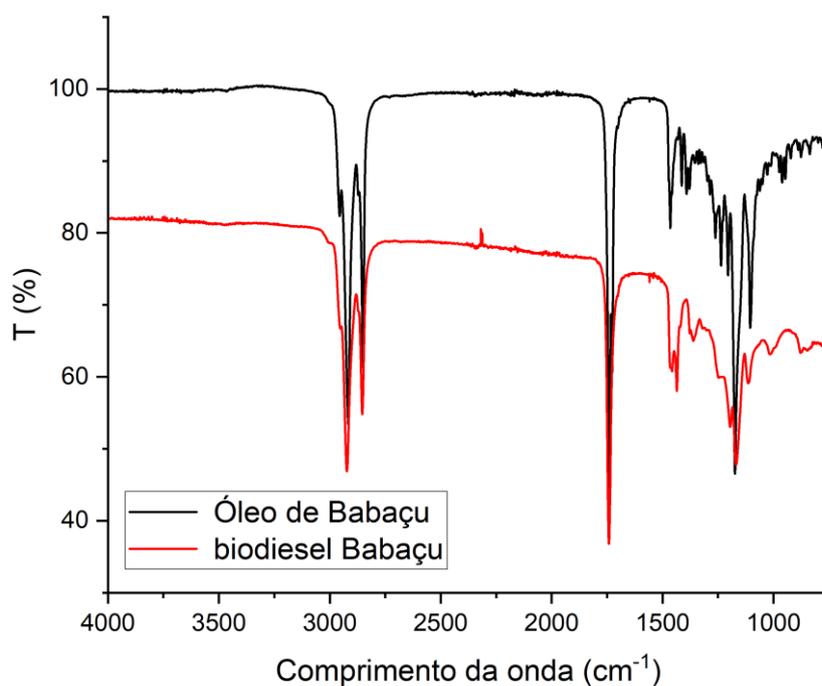


Figura 28. Espectro obtido do óleo e do biodiesel de babaçu

Fonte: Autor (2025).

Com base no espectro mostrado acerca do biodiesel e do óleo de babaçu, exibido na Figura 28 e obtido pelo fator FTIR com um espectro na amplitude de 500 a 4000 cm^{-1} , sendo as principais características destes espectros, visto que não se observa a banda associada ao grupo O-H e, conseqüentemente, não se observou água e nem metanol na faixa 3500 cm^{-1} , ou seja, está purificado. As alterações mais acentuadas que podem ser observadas quando transformam o óleo em biodiesel, ocorrem na faixa de 900 a 1100 cm^{-1} , um espectro mais acentuado quando transformado em biodiesel. Já na faixa de 4267 a 4403 cm^{-1} , foram encontrados os valores do número de cetano dos biodieseis tipo A (Lauro, 2006).

4.2 Análise Termogravimétrica (TGA) do óleo e biodiesel de babaçu

Os parâmetros necessários que garantem o nível de qualidade dos biodieseis, atribuindo fatores principais de referência do teor de ésteres, atendendo a faixa de 96,5% conforme a resolução da ANP, Portaria nº 265, de 10 de setembro de 2020, possibilitando compará-lo com o óleo de babaçu por meio do gráfico, identificando o ponto inicial e final, com referência na variação de temperatura e massa dos produtos.

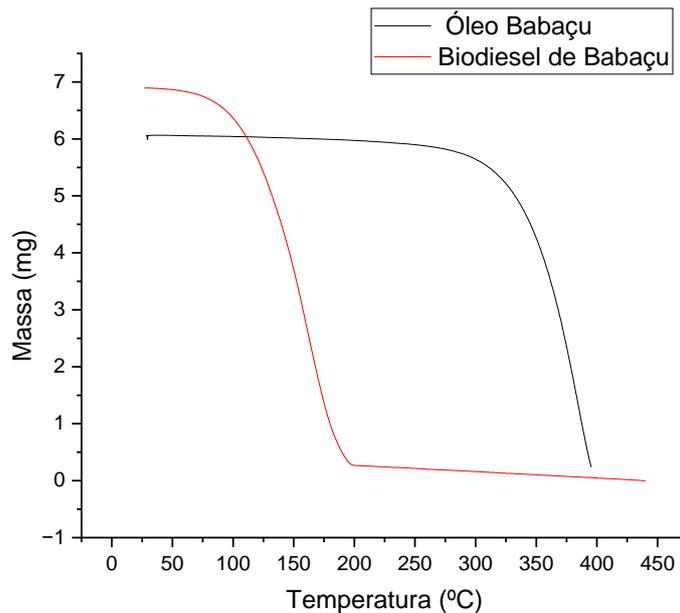


Figura 29. Curva termogravimétrica do biodiesel e óleo de babaçu

Fonte: Autor (2025).

A Figura 29 mostra a curva termogravimétrica do biodiesel de babaçu iniciando com uma massa de aproximados 7 mg e com o óleo de babaçu iniciando com 6 mg de massa. Para o biodiesel de babaçu, observa-se uma perda de massa de aproximados 97% com uma temperatura de 250°C, que pode definir esta porcentagem como o teor de ésteres para o biodiesel. O óleo de babaçu teve a perda de massa com mais intensidade acima dos 300°C.

4.3 Propriedades dos biodieseis

As propriedades principais dos biocombustíveis são exibidas conforme a (ASTM) Sociedade Americana para Testes e Materiais. O biodiesel de babaçu tem um bom índice de conversão, proporcionando características físico-químicas de composição próximas ao diesel, os quais são parâmetros essenciais para a correta comercialização do combustível (Tabela 8).

Tabela 8. Biodieseis de Babaçu e Soja B100 com padrões da ASTM

Propriedades	Biodiesel (ASTM)	Babaçu / Soja	
Índice de acidez (mg KOH/g)	Max. 0,50	0,13	0,20
Poder calorífico (M.J./kg)	36 a 40	37,5	39,8
Viscosidade cinemática 40°C (mm ² /s)	1,9 a 6,0	2,7	3,9
Ponto de entupimento (°C)	-3 a -12	-5	-9
Massa específica 20 °C kg/m ³	860 a 900	873	883
Estabilidade à oxidação a 110°C (h)	-	11,7	1,3

Adaptado Lacaut (2023).

A estabilidade oxidativa do biodiesel de soja representa um valor suscetível à oxidação mais rápida, pois o tempo de estabilidade foi quase 10 vezes menor em comparação ao biodiesel de babaçu. As demais propriedades representaram valores dentro da faixa dos padrões ASTM.

4.3.1 Densidade

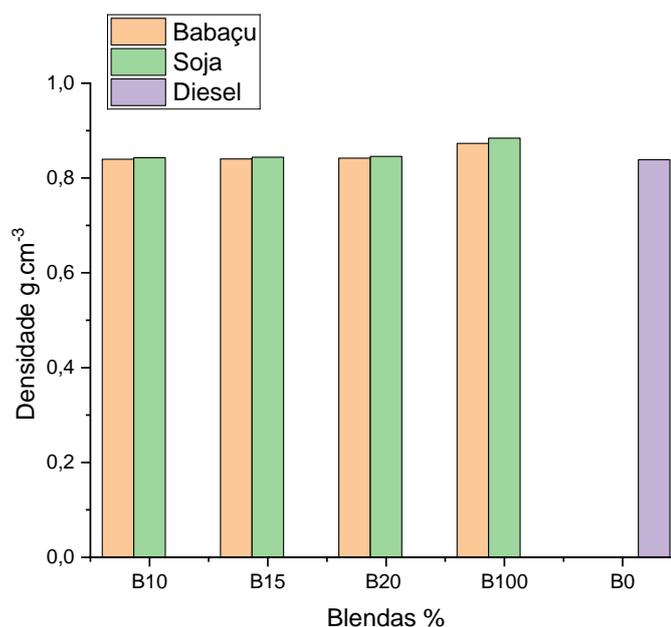
Os resultados de densidade demonstram que os biodieseis 100% estão dentro da faixa padronizada para biocombustíveis, com seus valores resultantes próximos de 0,88 g.cm⁻³ para o biodiesel de soja e 0,87 g.cm⁻³ para o babaçu.

Tabela 9. Densidade dos combustíveis e suas blends a 20 °C

Combustíveis	Densidade (g.cm ⁻³)
Biodiesel de babaçu B10	0,840
Biodiesel de babaçu B15	0,840
Biodiesel de babaçu B20	0,842
Biodiesel de babaçu B100	0,873
Biodiesel de soja B10	0,843
Biodiesel de soja B15	0,844
Biodiesel de soja B20	0,846
Biodiesel de soja B100	0,884
Diesel (S10) B0	0,838

Unioeste (2024).

Já para o diesel S10 e blends com biodiesel, as resultantes dos valores ficaram entre 0,84 e 0,85 g.cm⁻³ não ocorrendo diferença significativa.

**Figura 30.** Densidade dos combustíveis a 20°C

Fonte: Autor (2025).

A alta densidade com base no volume representa uma energia de alto potencial. Mesmo que o conteúdo energético do biodiesel seja reduzido em relação ao óleo diesel, a densidade do biodiesel é maior que o óleo diesel e, portanto, a diferença entre os conteúdos de energia é baixa. A alta densidade fornece um combustível a

ser pulverizado em grandes quantidades formando uma mistura rica nas câmaras do motor. Neste caso, a mistura rica leva a um aumento na temperatura da parede da câmara de combustão e o atraso de ignição diminui, podendo essa alta quantidade de combustível causar poluição ao meio ambiente, através das emissões de NOx (Yesilyurt et al., 2020).

4.4. Poder calorífico superior dos combustíveis

O valor calorífico ou calor de combustão é obtido por método de calorímetro de bomba de oxigênio ou bomba calorimétrica, pois o calor latente no produto de combustão é recuperado. O HV (Heating Value) é uma das propriedades mais imperativas de um combustível, assim como para o biodiesel sua medida ficou com o valor inferior ao do diesel (Murugesan et al., 2016).

Com o ensaio na bomba calorimétrica, o valor mensurado do poder calorífico superior do biodiesel B100 de babaçu foi em 37605 kJ.kg^{-1} , e do biodiesel B100 de soja foi mensurado em 39831 kJ.kg^{-1} , inferiores ao do diesel S10 que apresentou o valor de 45020 kJ.kg^{-1} . Encontram-se dispostos os demais valores (Figura 31).

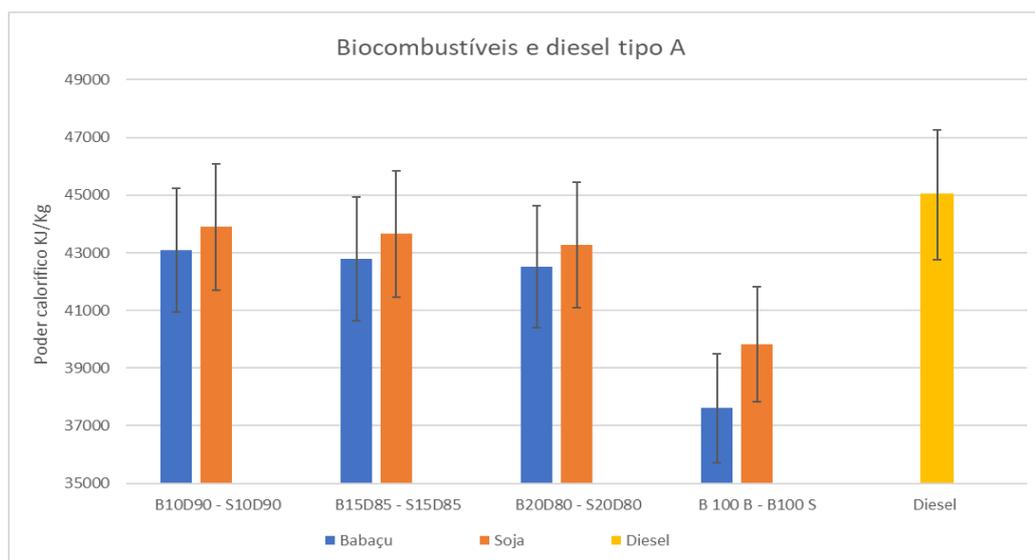


Figura 31. Poder calorífico superior dos combustíveis

Fonte: Autor (2025).

Observa-se que os menores poderes caloríficos são dos biocombustíveis de babaçu (B100 B) e soja (B100 S) ambos 100% de biodiesel, obtendo um leve diferencial positivo para o biodiesel de soja B100. A porcentagem na parte superior em cada barra, demonstra os níveis para um desempenho na amplitude indicada de 5% para mais e para menos.

4.5 Ensaios de viscosidade

Determinando uma importante propriedade do combustível, a viscosidade cinemática consiste na resistência ao fluxo de um fluido por meio do orifício de um equipamento. A norma determinante sobre a viscosidade a 40° C é a ASTM D445, que prioriza o valor mínimo de 1,9 mm²/s e valor máximo de 6,0 mm²/s (Lapuerta et al., 2010; Schlosser et al., 2007).

Com os ensaios de viscosidade, foi observado que a menor viscosidade é a do diesel B0 de 2,2 mm²/s, assim como as maiores viscosidades são provenientes dos biodieseis de babaçu B100 de 2,74 mm²/s e soja B100 de 3,94 mm²/s, sendo que estes valores estão dentro da faixa dos níveis admissíveis da ASTM (Figura 32).

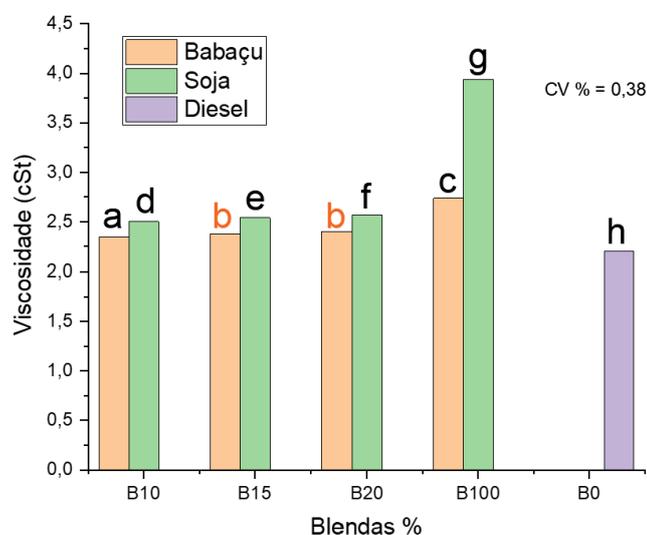


Figura 32. Viscosidade a 40° C (cSt), e análise teste Tukey

Fonte: Autor (2025).

Levando em conta todas as amostras com biocombustível e suas blendas, o babaçu mostrou menor viscosidade comparando ao biodiesel de soja.

Na análise estatística das amostras dos combustíveis sem misturas, ou seja, biodiesel de soja B100, biodiesel de babaçu B100, e diesel B0, observou-se que os combustíveis puros apresentam diferenças significativas com p-valor 0,05. Para as amostras com blendas, constatou-se que não existem diferenças significativas entre os combustíveis B15 e B20 de babaçu. No restante dos combustíveis, as diferenças são significativas.

4.6 Potência elétrica gerada

As potências produzidas pelo motor gerador revelaram proximidade nos valores com um comportamento linear, mostrando pequena queda na geração de energia elétrica para o biodiesel de babaçu (B100) e suas blends (Figura 33a). Nos combustíveis de soja, não ocorreu redução considerável da potência gerada em comparação ao diesel B0 D100 (Figura 33b).

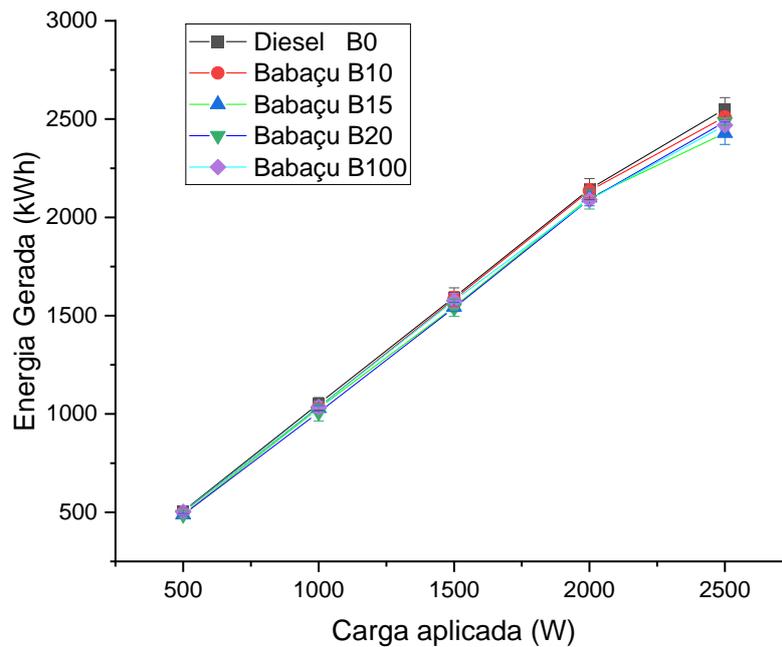


Figura 33a. Energia gerada de acordo com as misturas de diesel/biodiesel de babaçu com cargas do motor (W)

Fonte: Autor (2025).

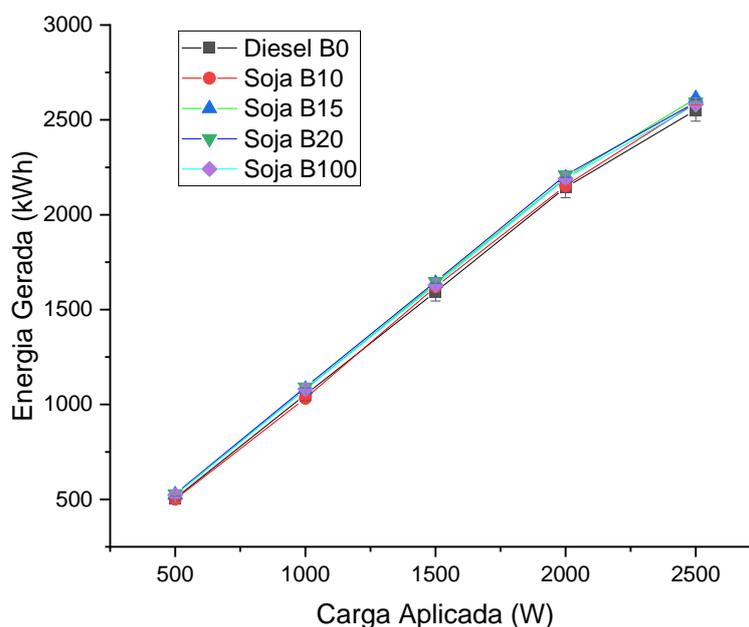


Figura 33b. Energia gerada de acordo com as misturas de diesel/biodiesel de soja com cargas do motor (W)

Fonte: Autor (2025).

Os valores de geração de energia e, conseqüentemente, a dificuldade da discussão de resultados com a literatura existente, caracterizaram a aplicação do teste de Tukey. O teste de comparação entre amostras avaliou a diferença significativa entre os biocombustíveis ensaiados e o diesel. Analisando o p-valor nos combustíveis diesel, biodiesel de babaçu e soja, em todas as cargas de potência aplicadas ocorreu a representação estatística de igualdade entre os valores médios de geração de energia destes combustíveis. Para a carga de 2500W na qual o diesel teve a maior geração, o biocombustível de babaçu, de soja e o diesel também tiveram igualdade tendo em vista o nível de significância 0,05.

As potências elétricas obtiveram uma leve redução nas cargas de 2000 a 2500 W, podendo ser baseadas na lei de Lenz. Quando aplicada a carga nominal, a indução eletromagnética e uma força eletromotriz induzida fizeram com que uma corrente circulasse em um sentido no qual seu efeito magnético fez oposição à variação que a produziu, necessitando uma maior aceleração do motor a combustão para conservação do momento angular (Hirsch, 2007). Tendo em vista ainda a faixa de operação de torque, segundo o fabricante do motor a combustão, em específico na rotação de 3600 RPM, onde existe uma tendência de redução do torque no eixo do motor (Branco, 2025). Assim, existindo uma possibilidade de um fator mecânico causando a pequena variação na geração de energia elétrica nas cargas de 2500 W.

4.7 Consumo específico dos combustíveis (SFC)

O consumo específico de combustível (SFC) revelou melhor resultado com biodiesel de soja em todas as cargas em comparação ao babaçu. Os aumentos médios foram de 16, 12, 9, 18% e 10%, operando com os combustíveis B100, respectivamente (Figura 35). O maior consumo específico do biodiesel puro B100 pode ser atribuído por possuir estrutura insaturada e menor poder calorífico em relação ao diesel B0. É possível observar que nas cargas aplicadas no sistema em 1000W, 1500W e 2500W promoveram pontos de redução no consumo específico no combustível de babaçu (B100), obtendo um melhor consumo. Vale frisar que os combustíveis com blendas de 20% de biodiesel tiveram um resultado inferior aos demais (Figura 34).

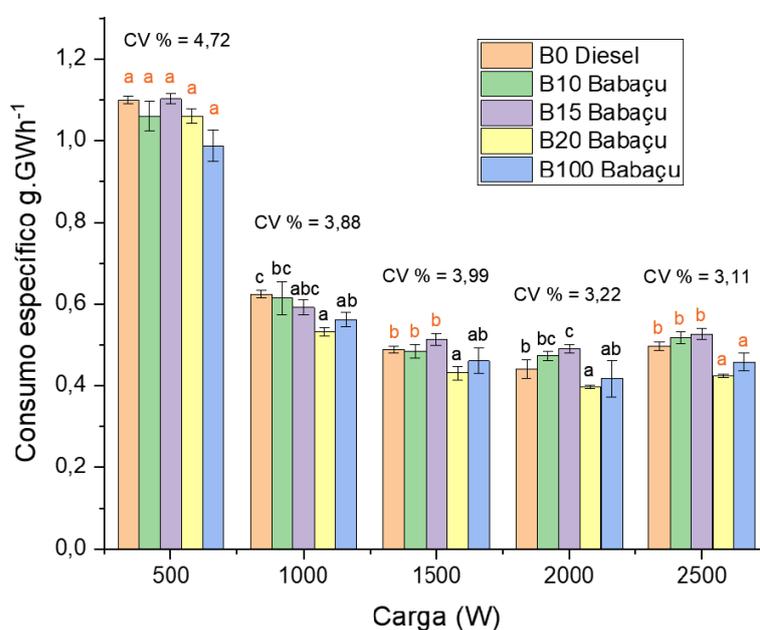


Figura 34. Consumos específicos de acordo com as misturas de biodiesel de babaçu e diesel
Fonte: Autor (2025).

O SFC da mistura de biodiesel de babaçu B20 foi inferior ao da mistura de biodiesel de soja B20, especialmente em baixas cargas (Figura 35). Entretanto, a mistura de biodiesel de babaçu B20 a 2000 W apresenta melhor SFC que as demais misturas de biodiesel de babaçu e biodiesel de soja. Isto pode ser atribuído a maior pressão e compressão que suportam uma melhor atomização do combustível (Shete et al., 2022).

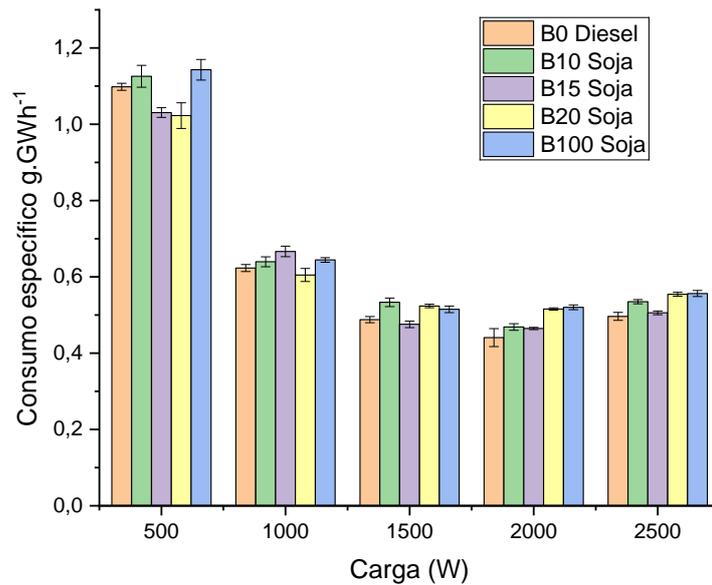


Figura 35. Consumos específicos de acordo com as misturas de biodiesel de soja, e diesel com cargas do motor (W)
Fonte: Autor (2025).

O maior SFC do biodiesel de soja B100 pode ser atribuído ao menor poder calorífico do biodiesel com a maior densidade em comparação ao diesel. Portanto, era esperado que o biodiesel tivesse um SFC maior que o diesel. De acordo com İlkılıç et al. (2011), o SFC do biodiesel aumenta com a elevação do teor de biodiesel. Como o poder calorífico do biodiesel é inferior ao do óleo diesel, mais combustível é injetado na bomba de combustível para atingir uma potência igual à gerada pelo óleo diesel, levando a um aumento no SFC (Simsek, 2020). O biodiesel puro de soja possui alta viscosidade e densidade, o que prejudica a atomização da pulverização, levando a uma liberação mais lenta de calor e a um aumento no consumo de energia, pois o combustível necessário para produzir a mesma potência é maior (Thiagarajan et al., 2020). Para Atmanli e Yilmaz (2020), a adição de álcool ao biodiesel é um dos métodos para reduzir a densidade e a viscosidade e melhorar as propriedades gerais das misturas combustíveis. Yesilyurt et al. (2020) atribuíram o maior SFC ao menor poder calorífico, maior viscosidade e maior densidade do biodiesel em comparação com o diesel. O SFC diminuiu com o aumento da carga para todos os combustíveis. Isto pode ocorrer em decorrência do aumento da produção de energia e ao consequente aumento da temperatura no interior do cilindro.

4.8 Eficiência energética do conjunto motor diesel e gerador

A combustão incompleta reduz o rendimento do motor diesel devido ao menor teor de oxigênio do diesel B0 no cilindro do motor, levando à combustão incompleta, à diminuição da concentração de O₂ e à redução da eficiência do combustível diesel (Barik et al., 2017).

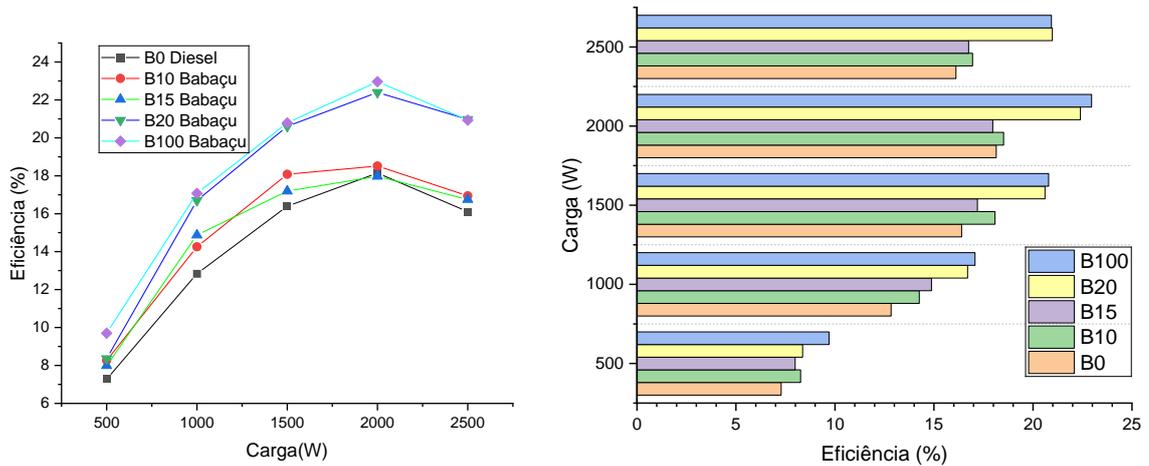


Figura 36. Eficiência do conjunto motor-gerador de acordo com as misturas de biodiesel de babaçu, e diesel com suas cargas

Fonte: Autor (2025).

Para os biocombustíveis de babaçu, as blendas B20 representaram os melhores resultados de rendimento no conjunto motor-gerador, seguido pelo biodiesel B100, obtendo diferença significativa. Nas potências elétricas de 2000 e 2500 W, foi identificada diferença média de aproximados 3 pontos para mais no biodiesel de babaçu B100 e blenda B20 (Figura 36).

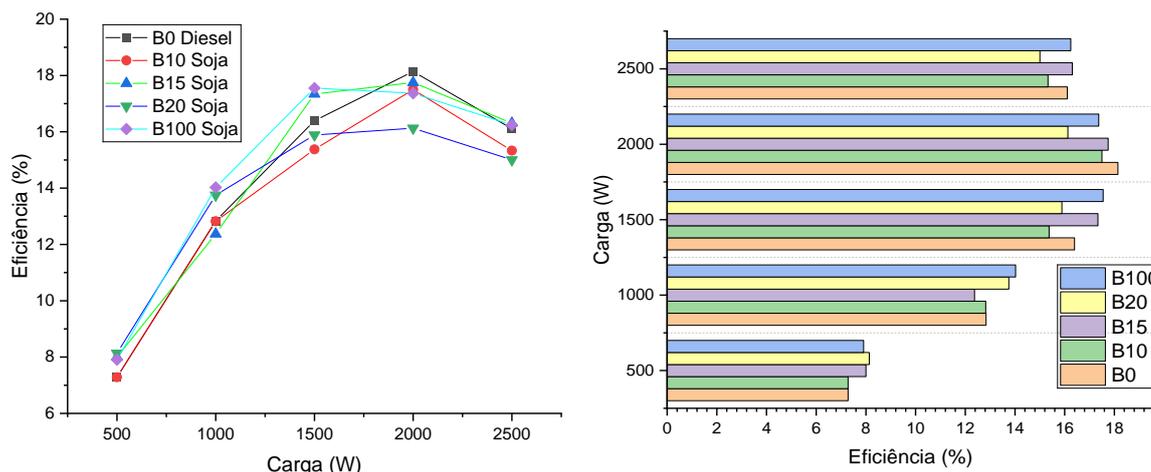


Figura 37. Eficiência do conjunto motor-gerador de acordo com as misturas de biodiesel de soja, e diesel com suas cargas

Fonte: Autor (2025).

Na Figura 37, misturas de biodiesel de até 20% (B20) proporcionam um bom equilíbrio entre rendimento do motor, consumo de combustível e emissões, melhorando o torque e a potência em comparação com o diesel B0 em alguns casos, mantendo uma eficiência de combustível razoável (Venkatesan E. P. et al., 2023).

5 Emissões de monóxido de carbono (CO)

Emissão de CO provida de óleos vegetais, geralmente tem uma combustão reduzida, devido à alta densidade e viscosidade do combustível. A combustão incompleta do combustível tende ao aumento das emissões de CO com mais emissões quando em cargas maiores (Edwin G. V. et. Al., 2020).

Na avaliação dos gases emitidos pelos diferentes percentuais de biodiesel e cargas solicitadas do grupo gerador, observou-se que as emissões de monóxido de carbono, diminuíram com a elevação da concentração de biodiesel. Foi observada a menor emissão de CO com o biodiesel de babaçu comparado com o diesel, especialmente na carga de 2000 W (Figura 38). Isto pode ocorrer em razão da maior concentração de O₂ na mistura ar-combustível, o que pode melhorar a combustão e aumentar ainda mais a oxidação do CO.

Procedeu-se os testes de Tukey para encontrar as diferenças nas emissões

para o biodiesel de babaçu, respectivamente.

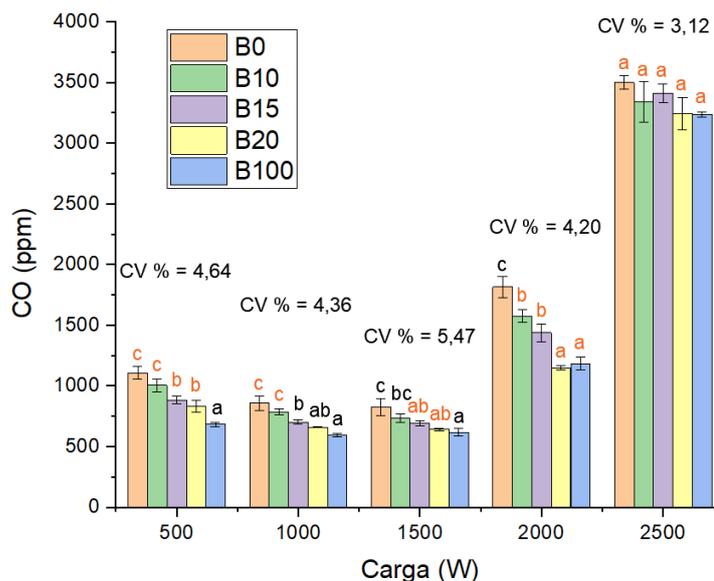


Figura 38. Resultado conforme desempenho do biodiesel de babaçu com emissão de (CO)

Fonte: Autor (2025).

Com cargas mais elevadas do motor e as conseqüentes temperaturas de combustão mais elevadas, a utilização de biodiesel pode resultar em um desempenho mais eficiente, ao mesmo tempo em que gera menos emissões de CO (Kivevele et al., 2011). A emissão de CO pelo escapamento representa uma perda de energia química durante a combustão devido à queima incompleta nas cargas mais altas (Kalam et al., 2003; Deheri et al., 2020). O aumento das emissões de CO na carga de 2500W é relativo ao maior consumo de combustível nesta carga (Kul; Kahraman, 2016).

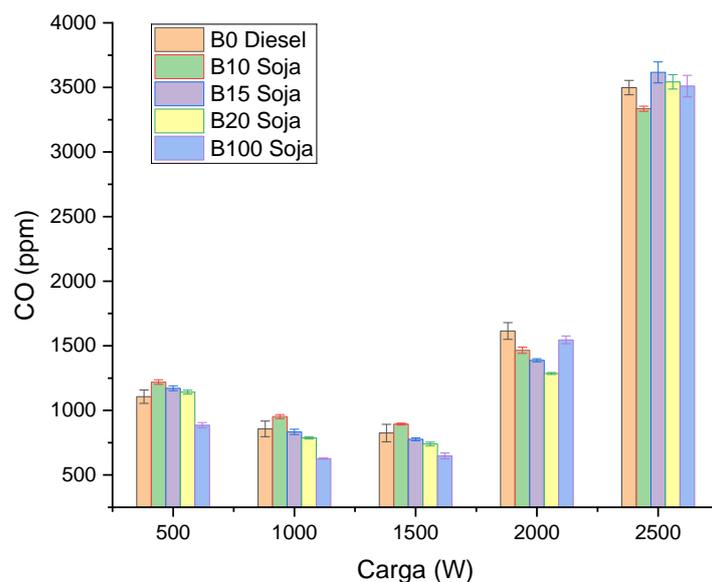


Figura 39. Resultado conforme desempenho do biodiesel de soja, emissão de (CO)
Fonte: Autor (2025).

As emissões de CO obtiveram muitas variações entre o diesel puro B0 em comparação com o biodiesel de soja (Figura 39). Entretanto nas cargas de 500 a 2000 W o biodiesel de soja B100 apresentou um nível menor em vista do diesel. Tal diferença pode ser atribuída ao oxigênio presente no biodiesel, que melhora a queima das moléculas de carbono, levando a uma combustão mais completa (Aydin, 2020).

5.1 Emissões de dióxido de carbono (CO₂)

As emissões de CO₂, sendo o resultado da queima de combustíveis de hidrocarbonetos, bem como o sinal da combustão completa, provêm de um gás que causa o aquecimento global. O CO₂ existente nos produtos de exaustão é um parâmetro importante uma vez que representa a combustão completa (Yesilyurt et al., 2020).

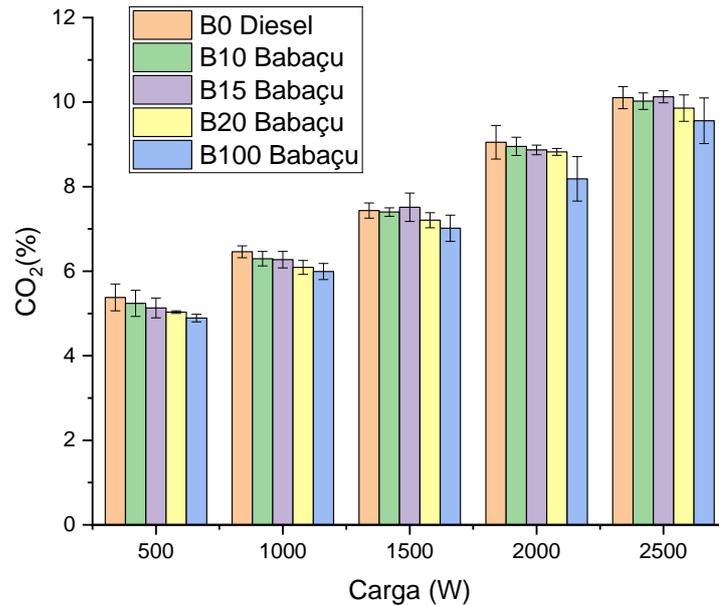


Figura 40. Desempenho do biodiesel de babaçu com emissão de (CO_2)
Fonte: Autor (2025).

O biodiesel de babaçu apresentou uma tendência na redução da emissão de CO_2 nas cargas com 20%. Com a aplicação da anova e do teste Tukey, não foram identificadas diferenças significativa entre todos os níveis dos ensaios realizados. Isso indica que a diferença é considerada pequena, assim como não proporcionou um parâmetro para comparação entre as amostras (Figura 40).

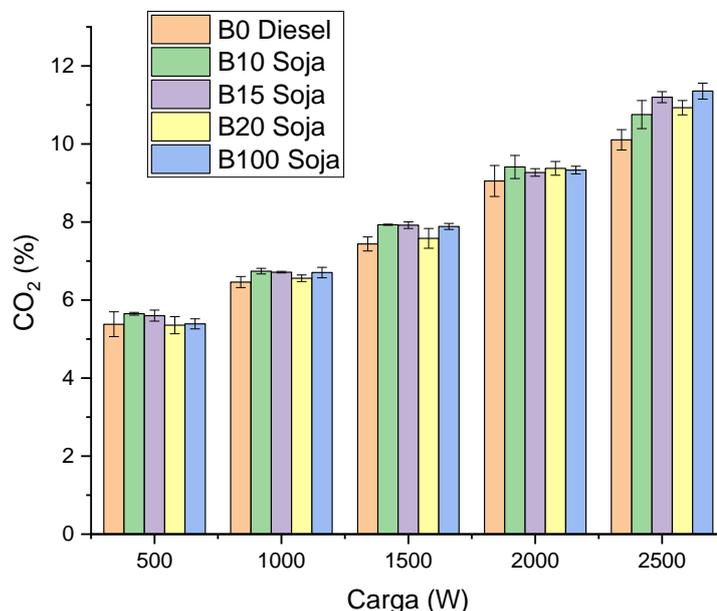


Figura 41. Desempenho do biodiesel de soja com emissão de (CO_2)
Fonte: Autor (2025).

A emissão de dióxido de carbono do biodiesel tem uma tendência na representação gráfica de emitir mais CO₂ que o diesel, nas potências elétricas acima de 1500 W (Figura 41). Por exemplo, o aumento das emissões e valores de CO₂ decorrentes do uso de biodiesel, nas cargas de 2500 W evidenciaram uma diferença significativa maior para o biodiesel de soja B100 e suas blendas em torno de 10%, sendo as emissões de CO₂ maiores que o combustível diesel (ORS, 2016).

5.2 Particulados de óxidos de nitrogênio combinado (NO_x)

O biodiesel de babaçu B100 e de soja B100 com grande diferença nas emissões de NO_x (Figura 42). O biodiesel de soja B100 revelou emissões mais altas em comparação com outras blendas de biodiesel de soja e diesel.

De acordo com uma revisão de Mofijur et al. (2014), o uso de biodiesel de diferentes oleaginosas geralmente aumenta as emissões de NO_x. Curiosamente, o biodiesel de babaçu (B100) mostrou emissões mais baixas em comparação com outras misturas de biodiesel de babaçu e diesel.

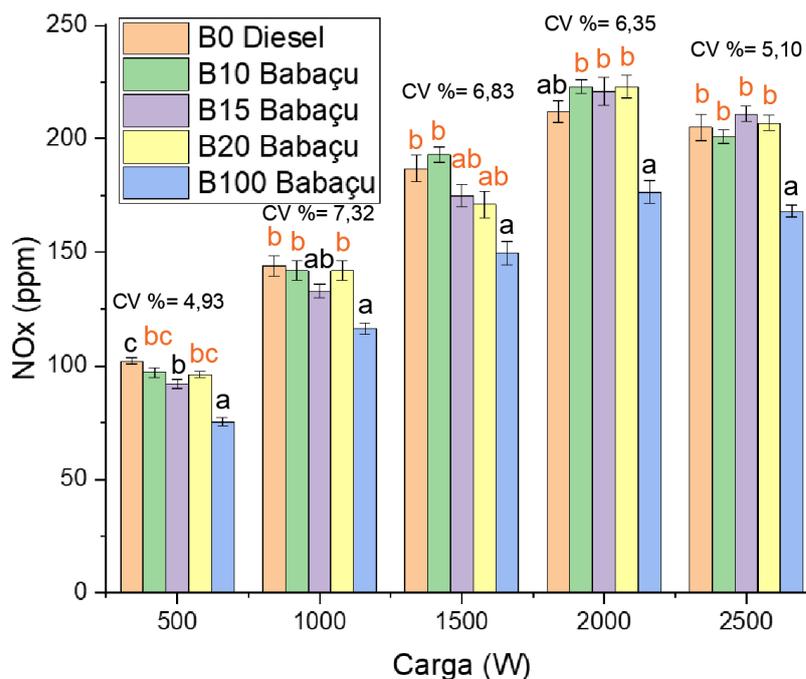


Figura 42. Desempenho do biodiesel e babaçu com a emissão do (NO_x)
Fonte: Autor (2025).

O biodiesel de soja (B100) tem emissões de NO_x 18% maiores em comparação ao biodiesel de babaçu (B100). Pesquisas mostram que a formação de NO_x depende do grau de insaturação do biodiesel. Nas cargas mais altas, a redução do NO_x aconteceu em razão do aumento excessivo de monóxido de carbono (CO),

assim reduzindo o oxigênio e, conseqüentemente, o NO_x (McCormick et al., 2001; Samuelsen GS et al., 2013). Em geral, o biodiesel saturado sem dupla ligação produz menos quantidade de NO_x do que os combustíveis insaturados (Bakeas et al., 2011), o que pode explicar nossos resultados.

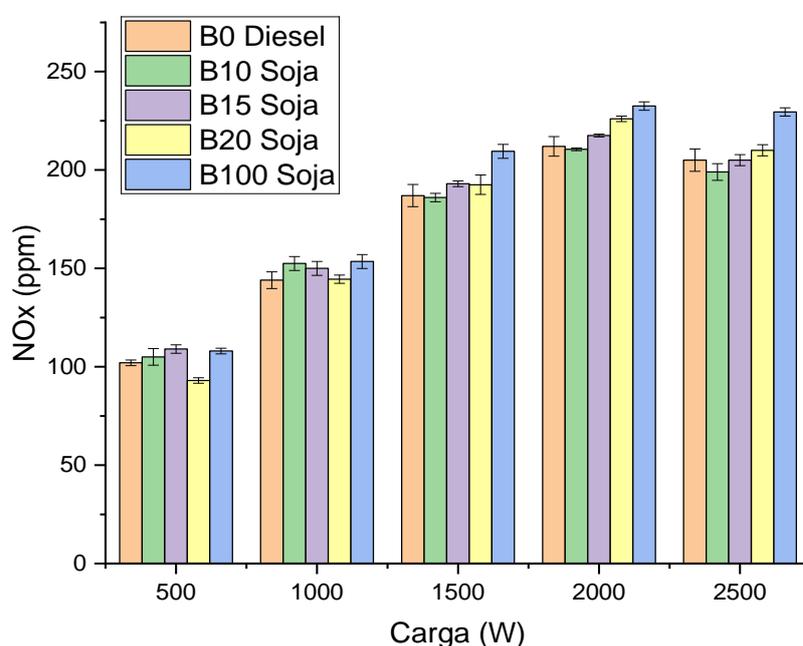


Figura 43. Desempenho do biodiesel soja com a emissão do (NO_x)
Fonte: Autor (2025).

Em contraste, o efeito do aumento das ligações duplas nas emissões de NO_x, como a soja, é que as emissões de NO_x são alteradas com a elevação do grau de insaturação (Figura 43). Uma correlação entre o aumento do grau de insaturação com a elevação do atraso de ignição já foi encontrada na literatura (Graboski et al., 2003, Schönborn et al., 2009).

À medida que a carga aumenta, a emissão de óxido de nitrogênio é também elevada. Isso significa que tanto o diesel quanto o babaçu e a soja em cargas mais altas têm mais emissões de NO_x relatadas, resultando em combustão e mais calor produzido por combustíveis em cargas mais altas (Shete et al., 2022).

As emissões de NO_x para os combustíveis com blendas e diesel, chegaram a valores acima de 200 ppm na carga de 2000W, sendo que na carga seguinte, ocorreu uma redução. Já para o biodiesel de babaçu B100, os valores ficaram abaixo de 200 ppm, diferente do biodiesel de soja B100, que revelou valores acima dos combustíveis com blendas e diesel puro. A formação imediata de NO_x aumenta

com uma razão de equivalência crescente e, em seguida, atinge um pico e diminui devido à falta de oxigênio (Fernando et al., 2006).

5.3 Particulados de dióxido de enxofre (SO₂)

Com a ausência de enxofre na composição do biodiesel, a resultante é nula em relação aos índices de emissão de dióxido de enxofre (SO₂). Já o diesel S10, combustível emissor de dióxido de enxofre, emite uma fumaça com no máximo 10 partes de enxofre em cada milhão de partículas (ANP, 2023).

5.4 Temperatura de exaustão (EGT)

A temperatura de exaustão aumentou quase linearmente com a elevação da carga aplicada ao motor para todos os combustíveis de teste. Entre os valores de temperatura que foram obtidos para os combustíveis, foi observada a elevação para o combustível B100 de soja, atingindo aproximados 500 °C podendo ser atribuído a combustão mais completa para o uso do biodiesel de soja, devido ao oxigênio contido na composição (Ilkiliç et al., 2011). Altas temperaturas de emissões indicam uma performance inferior do motor diesel, visto que a combustão é atrasada em razão da alta viscosidade do combustível quando é utilizado o biodiesel mais viscoso ou o óleo puro (Edwin et al., 2020).

Conforme a Figura 44, o aumento da carga promoveu a elevação no EGT devido à melhoria da qualidade do processo de combustão e ao aumento da quantidade de combustível injetado. Ademais, a EGT foi menor para o biodiesel de babaçu B100 em comparação com o óleo diesel, em decorrência do óleo saturado, ao maior teor de oxigênio e ao menor poder calorífico do biodiesel (Saridemir et al., 2020).

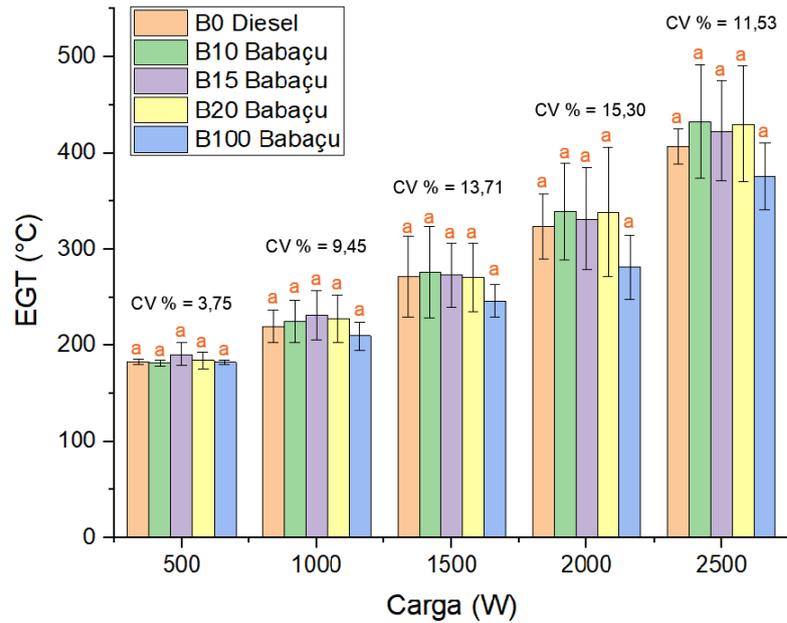


Figura 44. Temperatura de exaustão dos gases proveniente ao biodiesel de babaçu conforme cargas do motor (W)

Fonte: Autor (2025).

Os resultados da temperatura de exaustão dos gases para todos os combustíveis, tiveram uma elevação gradativa na carga de 2500W representando aumento de até 25% na temperatura de exaustão do biodiesel de soja comparado com o diesel (Figura 45a).

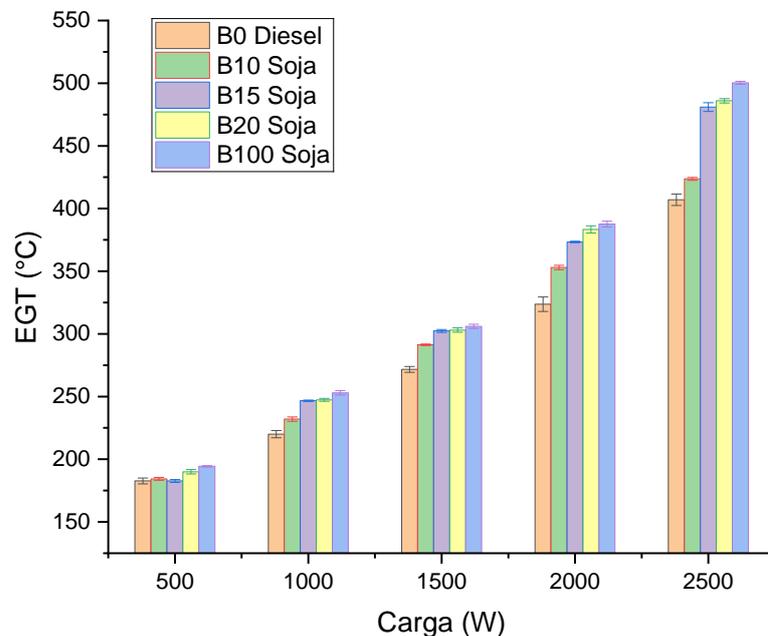


Figura 45a. Temperatura de exaustão dos gases proveniente ao diesel e biodiesel de soja conforme cargas do motor (W)

Fonte: Autor (2025).

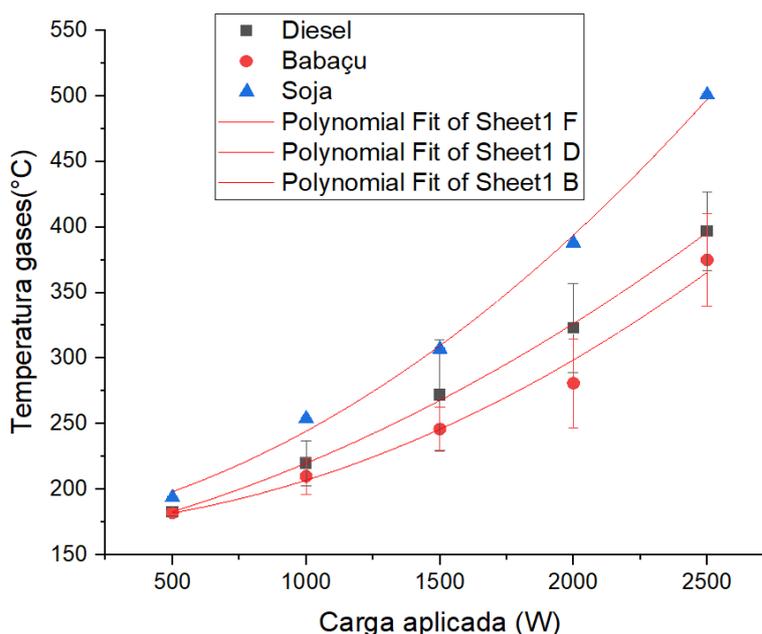


Figura 45b. Temperatura de exaustão dos gases proveniente ao diesel e biodiesel de babaçu e soja conforme cargas do motor (W)
Fonte: Autor (2025).

O biodiesel de babaçu B100 tem menos ligações na estrutura. Outrossim, o biodiesel tipo A é 100% puro, bem como tem menor temperatura de exaustão e NOx que a soja, a qual tem estrutura insaturada. A estrutura insaturada da soja é a causa das diferentes emissões de temperatura. Apenas na primeira carga com 500W, o babaçu B100 mostrou um valor aproximado aos demais (Figura 45b) (Anh, 2018).

5.5 Emissão de hidrocarbonetos não queimados (HC, ppm)

A emissão de hidrocarbonetos (HC) do óleo diesel foi superior aos demais combustíveis avaliados. A diferença nas emissões de HC pode estar relacionada ao fato do diesel ser um combustível de base mineral que não contém oxigênio dissolvido. Como resultado, a combustão parcial do óleo diesel ocorre ao longo do processo de combustão, resultando em maiores emissões de HC (Shete et al., 2022). O nível de índice de cetano dos biodieseis altera a emissão de HC. À medida que as misturas aumentam, a combustão é melhor, resultando em menos emissão de HC. Os resultados mostram que o biodiesel de soja B100 produz menos HC, 66 ppm de emissão em comparação com o babaçu B100 que produz 74 ppm a uma carga de 2,5 kW (Figura 46). As emissões de HC diminuíram quando se observou o aumento do percentual de biodiesel de soja no diesel, sendo observada a redução nas emissões de HC e CO.

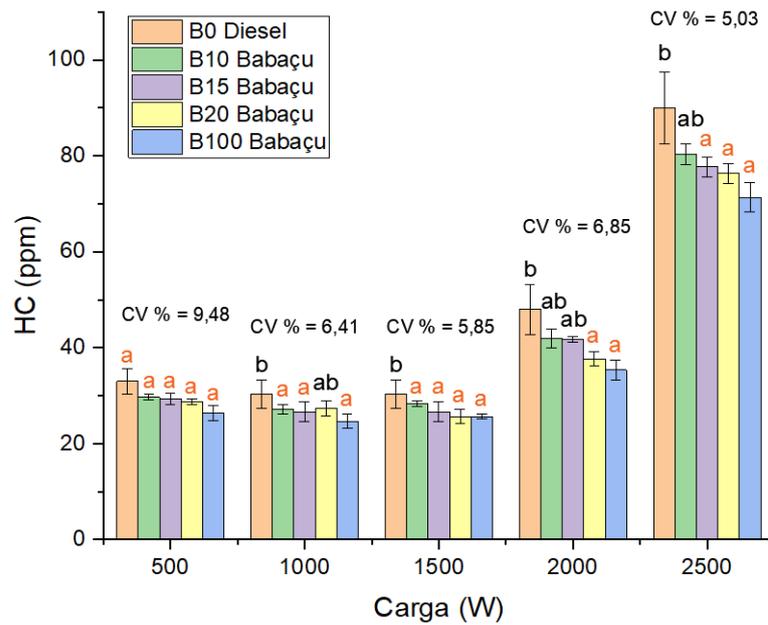


Figura 46. Hidrocarbonetos dos gases provenientes ao biodiesel de babaçu
Fonte: Autor (2025).

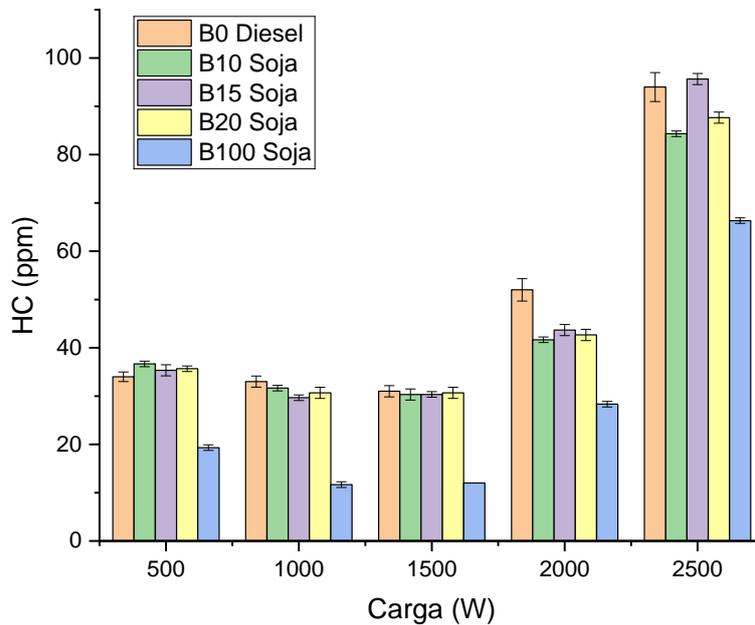


Figura 47. Hidrocarbonetos dos gases provenientes ao biodiesel de soja
Fonte: Autor (2025).

As emissões de HC para muitos combustíveis também são menores em velocidades mais altas do motor e, por exemplo, quanto maior a porcentagem de biodiesel nas misturas biodiesel-diesel, menores são as emissões de HC, uma tendência semelhante às emissões de CO. A mistura de 20% evidenciou reduções médias de HC superiores a 5%. Entretanto, misturas mais elevadas de óleo e

velocidades mais elevadas deterioram as emissões de HC. A mistura rica em plena carga resulta em mais emissões de HC (Roy et al., 2013). Os resultados interessantes mostraram ainda que no biodiesel de soja B100 ocorreu a menor emissão de HC em comparação com o coco babaçu B100 (Figura 47).

Em todas as cargas, a soja mostrou emissões mais significativas que o babaçu. Isso ocorre porque a maior razão de compressão e temperatura resultou em mais atomização do combustível e melhor combustão com menos emissões de HC. Entre as misturas, 20% tem emissões de HC relativamente mais baixas, o que destaca que 20% é uma mistura de combustível com o ponto ótimo entre outros combustíveis e blendas (Shete et al., 2022; Rajak U. et al., 2023).

6 CONCLUSÕES

Foram comparadas as emissões e o desempenho de um motor gerador utilizando biodiesel de babaçu, diesel comercial e biodiesel de soja. O biodiesel de babaçu é uma ótima escolha para substituir o diesel fóssil, pois a estrutura do babaçu é a chave para a melhor produção de biodiesel. A estabilidade oxidativa apresentou um bom resultado após 11,7 horas de ensaio e a viscosidade é menor que a do biodiesel de soja. As análises de TGA e infravermelho mostraram que os ésteres do biodiesel de babaçu e o nível de água estão de acordo com as normas brasileiras. Os consumos específicos de biodiesel de babaçu e de soja foram semelhantes. Ademais, o babaçu B20 reduziu o consumo específico em 10% em relação à soja B20 na carga de 2,5 kW, ao passo que o B100 apresentou menores emissões de CO, NOx e EGT em comparação ao biodiesel de soja e diesel em todas as cargas do motor. A soja reduziu o HC na mistura B100 em todas as cargas. O biodiesel de babaçu B20 exibiu baixas emissões de CO, NOx e HC comparativamente com as cargas menores que as emissões de soja e diesel. Por fim, as misturas de B20 tiveram melhor desempenho em termos de emissões de CO e eficiência do sistema, sendo melhores em comparação com outras misturas de combustíveis. Portanto, a mistura de coco babaçu B20 pode ser um melhor substituto parcial do diesel convencional, e também uma possibilidade do uso como aditivo aos combustíveis apresentados.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDALA, E., Nur, O., Mustafa, M.A., **Efficient biodiesel production from algae oil using Ca-doped ZnO nanocatalyst**. *Ind Eng Chem Res* 59(43):19235–19243, 2020. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.0c04118>.
- ABEDIN, M. J., et al., **Performance, emissions, and heat losses of palm and jatropha biodiesel blend in a diesel engine**. *Industrial crops and products*, 59, 96-104, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.05.001>.
- AGARWAL, D., Sinha S, Agarwal, A.K., **Experimental investigation of control of NOx emission in bio-diesel fueled compression ignition engine**. *Renew Energy*, v. 31, 2356–69, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.12.003>.
- AGARWAL, A.K., **Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines**. *Prog Energy Combust Sci*, v. 33, p. 233–71, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2006.08.003>.
- AGARWAL, A.K, Rajamanoharan, K., **Experimental investigations of performance and emissions of karanja oil and its blends in a single-cylinder agricultural diesel engine**. *Appl Energy* June, v. 86, p. 106–112, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.04.008>.
- AI-SAMARAAE, R.R., et al., **Perspective of safflower (Carthamus tinctorius) as a potential biodiesel feedstock in Turkey: characterization, engine performance and emissions analyses of butanol–biodiesel diesel blends**. *Biofuels* 11 (6), 715–731, 2017. <https://doi.org/10.1080/17597269.2017.1398956>.
- ALTUN, Ş., **Effect of the degree of unsaturation of biodiesel fuels on the exhaust emissions of a diesel power generator**. *Fuel* v.117, 450–457, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2013.09.028s>.
- ANAND, V.W., Ganesh, S., Kechil, S.A., **Comparative study by DTM for unsteady viscous flow between the jet engines combustion unit subjected to inclined magnetic field**. *Aircraft Eng Aerosp Technol*, v.93, p. 528, 2020. <https://doi.org/10.1108/AEAT-09-2020-0202>.
- ANAND, K., Sharma, R.P., Mehla, P.S., **Experimental investigation on combustion, performance and emission characteristics of neat karanja biodiesel and its methanol blend in a diesel engine**. *Biomass Bioenergy*.v. 35, p. 533. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.10.005>.
- ASTM D975-14. Standard specification for diesel fuel oils.
- ASME D6751-12. Standard specification for biodiesel fuel blend stock.
- ALBIERO, D. et al. **Proposta de uma máquina para colheita mecanizada de babaçu (Orbignya phalerata Mart.) para a agricultura familiar**. *Acta Amazônica*, v. 37, p. 339, 2007.

ANH, T. H. **Waste heat recovery from diesel engines based on organic Rankine cycle**. Applied Energy, v. 231, P.138–166, 2018.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

Biocombustíveis. Disponível em: < <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/arquivos-anuario-estatistico-2022/anuario-2022.pdf>>. Acesso em: 30 novembro 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 3046/1: – **Motores de Combustão Interna Alternativos** – Desempenho – Parte 1: Condições, Padrão de Referência e Declarações de Potência e de Consumos de Combustível e Óleo Lubrificante. Rio de Janeiro: ABNT, 1995. 15-16 p.

ATABANI, A. E. et al. **A comparative evaluation of physical and chemical properties of biodiesel synthesized from edible and non-edible oils and study on the effect of biodiesel blending**. Energy v. 58, p. 296–304, 2013.

AYDIN, H., BAYINDIR, H. **Performance and emission analysis of cottonseed oil methyl ester in a diesel engine**, Renewable Energy 35 (2010) 588–592.

BASSEGIO, D., Zanotto, M. D., Santos, R. F., Werncke, I., Dias, P. P., Olivo, M., **Oilseed crop crambe as a source of renewable energy in Brazil**, Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 66, p. 315 - 321, 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.010>.

BAKEAS, E., Karavalakis, G., Stournas, S., **Biodiesel emissions profile in modern diesel vehicles**. Part 1: Effect of biodiesel origin on the criteria emissions. Sci Total Environ, 409, 1670–6, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.01.024>.

BARBOSA, R. L. et al. **Desempenho comparativo de um motor de ciclo diesel utilizando diesel e misturas de biodiesel**. Revista Ciência e Agrotecnologia, v.32, p.1588-1593, 2008.

BEZERRA, R.C.F.et al. **Babassu-oil-based biolubricant: Chemical n characterization and physicochemical behavior as additive to naphthenic lubricant NH-10**. Industrial Crops and Products, v.154, p.15, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112624>.

BONOMETO, R. P. **Análise energética do processo experimental de produção de biodiesel a partir de óleo de frango**. Botucatu: UNESP, 2009. 45p. Dissertação Mestrado.

BRANCO. **Catálogos de Produtos**. São José dos Pinhais, 2020. (catálogo comercial).

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Ministério de Minas e Energia (Org.). **Balanço energético nacional**. Rio de Janeiro, 2016. 60-62 p.

BRASIL. Lei 11.097, de 13 de Janeiro de 2005. **Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira**; altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20042006/2005/lei/

l11097.htm>. Acesso em: 17 nov. 2019.

BRASIL. Lei 13.263, de 23 de Março de 2016. **Altera a Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014, para dispor sobre os percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/L13263.htm>. Acesso em: 17 abr. 2024.

BRIZI, F. et al. **Energetic and economic analysis of a Brazilian compact cogeneration system: Comparison between natural gas and biogas.** *Renewable and Sustainable.* Energy Reviews, v. 38, p. 193-211, 2014.

CHAPMAN, S. J. **Fundamentos de máquinas elétricas.** 5. ed. Nova Iorque: Mcgraw-hill, p. 697-698, 2013.

CANDEIA, R.A., Silva, M.C.D., Carvalho Filho, J.R., Brasilino, M.G.A., Bicudo, T.C., Santos, I.M.G., Souza, A.G., **Influence of soybean biodiesel content on basic properties of biodiesel–diesel blends.** *Fuel* 88, 738–743, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.10.015>.

CANOIRA, L., Galean, J.G., Alcantara, R., Lapuerta, M., García-Contreras, R. **Fatty acid methyl esters (FAMES) from castor oil: Production process assessment and synergistic effects in its properties.** *Renew Energy*, 35, 208, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.05.006>.

CARLUCCI, P., Ficarella, A., Laforgia, D., **Effects of Pilot Injection Parameters on Combustion for Common Rail Diesel Engines.** Society of Automotive. SAE Technical Paper, 2003. <https://doi.org/10.4271/2003-01-0700>.

CUI, J., Martin, J.I., **Impacts of US biodiesel mandates on world vegetable oil markets.** *Energy Econ.* 65, 148–160, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.04.010>.

CONAB, Boletim da Sociobiodiversidade-outubro 2021 vol. 05, disponível: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 30 novembro 2023.

CORREA, I. M. et al. **Desempenho de Motor Diesel com Misturas de Biodiesel de Óleo de Girassol.** *Revista Ciência e Agrotecnologia*, v.32, p.923-928, 2008.

DELGADO, S. N., Encinar, J. M., Cortés, Á. G., **High oleic safflower oil as a feedstock for stable biodiesel and bio lubricant production.** *Industrial Crops and Products*, 170, 113701, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113701>.

DORADO, M.P., Ballesteros, E.A., Arnal, J.M., Gomez, J., Lopez, F.J., **Exhaust emissions from a diesel engine fueled with transesterified waste olive oil.** *Fuel* 82, 1311–5, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(03\)00034-6](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(03)00034-6).

DWIVEDI, G., Sharma, M.P., **Impact of cold flow properties of biodiesel on engine performance.** *Renew. Sust. Energ. Rev.* 31, 650–656, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.035>.

DE BRITO, V.L. et al. **Produção de biodiesel a partir de óleo residual de fritura utilizando molibdênio sobre nióbia como catalisador ácido heterogêneo: otimização de processos e estudo cinético.** Energia Renovável, v. 215, p. 1-12, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.118947>.

DHAR, A.; AGARWAL, A. K. **Effect of Karanja biodiesel blend on engine wear in a diesel engine**, Science direct, Article, Fuel Elsevier v. 134, p. 81-89, 2014.

EDWIN G. V., Thiyagarajan S., Prakhar K. (2020). **Effect of diglyme addition on performance and emission characteristics of hybrid minor vegetable oil blends (rubber seed and babassu oil) in a tractor engine – an experimental study.** Biofuels, 11:7, 829-837, DOI: 10.1080/17597269.2017.1418568.

EI-SEESY, A.I., Abdel-Rahman, A.K., Bady, M., Ookawara, S., **Performance, combustion, and emission characteristics of a diesel engine fueled by biodiesel-diesel mixtures with multi-walled carbon nanotube additives.** Energy Conversion and Management 135, 373–393, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.12.090>.

EMMA, A.F., Alangar, S., Yadav, A.K., **Extraction and characterization of coffee husk biodiesel and investigation of its effect on performance, combustion, and emission characteristics in a diesel engine.** Energy Convers Manag X 14, 100214, 2022. <https://doi.org/10.1016/J.ECMX.2022.100214>.

EIRICH, J. et. al. **Development of a dimethyl ether (DME)-fueled shuttle bus.** SAE transactions. p. 348-360, 2013.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. Disponível: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/71090783/prosa-rural---ferramenta-para-quebra-do-coco-babacu-e-tecnologia-social-em-reta-final-de-validacao-pelas-quebradeiras-de-coco>. Acesso em: 30 novembro 2023.

ERDOGAN, Sinan & Balki, Mustafa & Aydın, Selman & Sayin, Cenk. **Performance, emission and combustion characteristic assessment of biodiesels derived from beef bone marrow in a diesel generator.** Energy, v.207, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118300>.

FERNANDO, S.; HALL, C.; JHA, S. **NOx reduction from biodiesel fuels.** Energy Fuels, v. 20, p. 376-382, 2006.

FERREIRA, E.N. et al. **Investigation of the thermal degradation of the biolubricant through TG-FTIR and characterization of the biodiesel – pequi (Caryocar brasiliensis) as energetic raw material.** Fuel v. 245, p. 398–405, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.02.006>.

FERREIRA, A. M., Sena I.S., Magalhães K.F., Oliveira S.L., Ferreira I.M., Porto A.L.M. **Amazon Oils from Andiroba (Carapa sp.) and Babassu (Orbignya sp.) for Preparation Biodiesel by Enzymatic Catalysis**, Benthan Science, v.7, p.428-437, 2019. DOI: 10.2174/2211550108666190125115515.

FITZGERALD; KINGSLEY; STEPHEN D.U. **Máquinas elétricas** – Bookman. 7ª ed. p. 194-195, 2014.

GRABOSKI, M.S., McCormick, R.L., Alleman, T.L., Herring, A.M., **The Effect of Biodiesel Composition on Engine Emissions from a DDC Series 60 Diesel Engine**. National Renewable Energy Laboratory, Report 510-31461, 2023.

GAWALE, G.R., Prasad, K.S., Naga, S.G., **Experimentally investigating the influence of biodiesel blend (Bio20) injection instead of diesel in methanol dual-fuel HCCI engine performance**. Taylor & Francis: Master, Ships and offshore structures, p.1-8, 2023. <https://doi.org/10.1080/17445302.2023.2244143>.

GONGORA, B., et al., **Comparison of emissions and engine performance of safflower and commercial biodiesels**. Industrial Crops and Products v.179:114680, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114680>.

GOWTHAMAN, S., Thangavel, K., **Performance, emission and combustion characteristics of a diesel engine fuelled with diesel/coconut shell oil blends**. Fuel v. 322, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124293>.

GUERRA, E. P.; FUCHS, W. Biocombustível renovável: **Uso de óleo vegetal em motores**. Revista Acadêmica, Curitiba, v. 8, n. 1, p.103-112, 2010.
GOMES, L. F. S.; SOUZA, S. N. M.; BARICCATTI, R. A. **Biodiesel produzido com óleo de frango**. Revista Acta Scientiarum Technology, v.30, p.57-62, 2008.

GONZALEZ, W. A. et al. **Biodiesel e óleo vegetal in natura**. Ministério de Minas e Energia, 22ª ed. p. 146, 2008.

GOV.BR. disponível: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/analise-de-impacto-regulatorio-air/arquivos/1607120-especificacoes-nacionais-do-biodiesel-100.pdf/view>
Acesso em: 18 nov. 2023.

GIRARDI, C. J. et al. **Natural compounds as antifreeze additives to improve babassu biodiesel**. Fuel, v. 289, p. 2, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119746>.

HOEKMAN, S.K., Robbins, C., 2012. **Review of the effects of biodiesel on NOx emissions**. Fuel Process Technol 96, 237–49, 2011.
<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.12.036>.

HUANG, Z., Huang, J., Luo, J., Hu, D., Yin, Z., **Performance enhancement and emission reduction of a diesel engine fueled with different biodiesel-diesel blending fuel based on the multi-parameter optimization theory**, Fuel 314, 122753, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122753>.

HARWARD HX. **Energy and Thermodynamics**. <https://www.edx.org/learn/remote-work/harvard-university-remote-work/> Acesso em: 20 novembro 2023.

HIRSCH, J. E. **Do superconductors violate Lenz's law? Body rotation under field cooling and theoretical implications**. Article Physics Letters A, v. 366, p. 615-619, 2007.

IBGE <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=774> Available in– Acesso in 01/10/2023.

ILKILIÇ, C., et al. **Biodiesel from safflower oil and its application in a diesel engine**. Fuel processing technology, p.92, 356-362, 2011.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1: Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos**, 1. ed. digital, São Paulo: IMESP, 2008. p. 600, 601. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/nutricao/bromatologia/files/2013/07/NormasADOLFOLUTZ.pdf> Acesso em 21 junho 2020, 16:20.

JAYASEELAN, G.A.C., Anderson, A., Manigandan, S., Elfasakhany, A., Dhinakaran, V., 2021. **Effect of engine parameters, combustion and emission characteristics of diesel engine with dual fuel operation**. Fuel v. 302, 121152. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121152>.

KLAJN, F.F., Gurgacz, F., Lenz, M.A., Iacono, G.E.P., Souza, S.N.M., Ferruzzi, Y., 2020. **Comparison of the emissions and performance of ethanol-added diesel-biodiesel blends in a compression ignition engine with those of pure diesel**, Environmental Technology 511. <https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1504122>.

KRISHANIA, N., Rajak, U., Verma, TN., Kumar, A., Pugazhendhi, A., **Effect of microalgae, tyre pyrolysis oil and Jatropha biodiesel enriched with diesel fuel on performance and emission characteristics of CI engine**. Fuel v. 278 – 118252, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118252>.

KALAM, M. A.; HUSNAWAN, M.; MASJUKI. H. **Exhaust emission and combustion evaluation of coconut oil-powered indirect injection diesel engine**. Renewable Energy, v.28, p. 2405-2415, 2003.

KNOTHE, G. et al. **Manual do biodiesel**. São Paulo: Editora Blucher, p. 320-325 2011.

KNOTHE, G. **Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters**. Fuel Processing Technology, Amsterdam, v. 86, n. 10, p. 1059–1070, 2005.

KULKARMI, M. G.; DALAI, A. K. **Waste cooking oil – an economical source for biodiesel: a review**. Industrial & Engineering Chemistry Research, v.45, p.2901-2913, 2006.

KUL, BS.; KAHRAMAN, A. **Energy and exergy analyses of a diesel engine fuelled with biodiesel-diesel blends containing 5% bioethanol**. Entropy, v.18, p. 387, 2016.

KUMAR, M.A.R., Kannan, M., Nataraj, G., **A study on performance, emission and combustion characteristics of diesel engine powered by nano-emulsion of waste orange peel oil biodiesel**. Renewable Energy, 146, 1781-1795, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.168>.

KUMAR, M. V.; BABU, A. V. and KUMAR, P. R. **The impacts on combustion performance and emissions of biodiesel by using additives in direct injection diesel engine**. Alexandria Engineering Journal v. 57 p: 509–16, 2016.

LAURO, M. J. **Desenvolvimento de métodos para determinação de número de cetano e aditivo para número de cetano por espectroscopia no infravermelho próximo e infravermelho médio.** Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, 2006.

LAPUERTA, M. et al. **Stability, lubricity, viscosity, and cold-flow properties of alcohol-diesel blends.** Energy and Fuels, v. 24, n. 8, p. 4497–4502, 2010.

LIMA J. R. O.; SILVA R. B.; SILVA C. M. **Biodiesel de babaçu (orgignya sp.) obtido por via etanólica.** Química Nova, v. 30, p.600-608, 2007.

LUZ, C.S.C. et al. **Comparação de oleaginosas para a produção de biodiesel.** Engvista v. 17, p. 232–239, 2015.

LEGISWEB, **Instrução Normativa IN/ANVISA Nº 87 DE 15/03/2021.** Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=463823>. Acesso em: 6 maio 2024.

LEITE, D., et al., **Emissions and performance of a diesel engine affected by soybean, linseed, and crambe biodiesel.** Ind. Crops Prod. v. 130, p. 267–272, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.092>.

LIN, C.Y., Lin, H.A., **Engine performance and emission characteristics of a three phase emulsion of biodiesel produced by peroxidation.** Fuel Process Technol, v. 88, p. 35–41, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2006.07.008>.

LIN, G., **Development of low-temperatures properties on biodiesel fuel: a review.** Int J Energy Res, v. 39, 1295–1310, 2015. <https://doi.org/10.1002/er.3334>.

MARQUES, G. G., Gonçalves S. G., Silva M. J. **Vantagens do sistema de injeção Common Rail, comparada aos demais sistemas de injeção a diesel.** Journal Contemporary, v. 4 p. 01-22, 2024. <https://doi.org/10.56083/RCV4N6-149>.

MASERA, K., Hossain, A.K., **Advancement of biodiesel fuel quality and NOx emission control techniques.** Renewable and Sustainable Energy Reviews 178, 113235, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113235>.

MAAWA, W. N., Mamat, R., Najafi, G., De Goey, L. P. H., **Performance, Combustion, and Emission Characteristics of a CI Engine Fueled with Emulsified Diesel-Biodiesel Blends at Different Water Contents.** Fuel v. 267, 117265. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117265>.

MANIGANDAN, S., Gunasekar, P., Devipriya, J., Nithya, S., **Emission and injection characteristics of corn biodiesel blends in diesel engine,** Fuel 723–735, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.08.071>.

MCCORMICK, R.L., Graboski, M., Alleman, T.L., Herring, A.M., **Impact of biodiesel source material and Chemical structure on emissions of criteria pollutants from a heavy-duty engine.** Environ Sci Technol, v. 35, 1742–7, 2021. DOI:10.1021/es001636t.

MCGUIRK, J., **The aerodynamic challenges of aeroengine gas-turbine combustion systems**. Aeronaut J. 118, 557–99, 2014. <https://doi.org/10.1017/S0001924000009386>.

MAZIEIRO, J. V. G. et al. **Desempenho de um motor diesel com óleo bruto de girassol**, R. Bras. Agrociência, Pelotas, v. 13, n. 2, p. 249-255, abr-jun, 2007.

MERT, G.; ATILLA B. **Measurements and empirical correlations in predicting biodiesel-diesel blends viscosity and density**, Department of Mechanical Engineering Karadeniz Technical University, Turkey, 2017.

MORAN, MICHAEL J. et al. **Princípios de termodinâmica para engenharia**. 7. ed. Rio de Janeiro: Ltc. p. 947, 2014.

MOREIRA, F.B.F. et al. **In situ transesterification of babassu for production of biodiesel as sustainable energy option for Aratuba community in State of Ceará, Brazil**. Orbital Electron. J. Chem. v. 10, p. 95–112, 2018. <https://doi.org/10.17807/orbital.v10i2.1088>.

M. ZERRAKKI, IŞIK. **Comparative experimental investigation on the effects of heavy alcohols- safflower biodiesel blends on combustion, performance and emissions in a power generator diesel engine**, Journal, Applied Thermal Engineering, 2020.

MURUGESAN, A.; SUBRAMANIAM, D.; AVINASH, A. **Heating value of biodiesel: An empirical and theoretical exploration**. Energy Source, Part A, v.38, p. 1293 - 1298, 2016.

NABI, N., Akhter, S., Shahadat, M.Z., **Improvement of engine emissions with conventional diesel fuel and diesel–biodiesel blends**. Bioresource Technol 97, 372–8, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.03.013>.

NAGARAJAN, J., Balasubramanian, D., **Effect of Calcium Oxide Nano Fluid Additive on Diesel Engine Characteristics Fuelled with Ternary Blend**. Technical Paper, 2021. <https://doi.org/10.4271/2021-28-0236>.

OUTILI, et al., **Biodiesel production optimization from waste cooking oil using green chemistry metrics**. Renew Energy v. 145, 2575–2586, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.152>.

OZA, S., Thakar, H., Kodgire, P., Kachhwaha, S., **Utilizing an ultra-sonication process to optimize a two-step biodiesel production from Karanja oil**. Environmental Science and Pollution Research, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28711-6>.

OGUZ, H; DUZCUKOGLU, H; EKINCI, S. **The investigation of lubrication properties performance of euro-diesel and biodiesel**. Tribology, p. 449–56, 2011.

ORS, I., B., V. **An experimental and ANNs study of the effects of safflower oil biodiesel on engine performance and exhaust emissions in a CI engine**. Int J Adv Eng Technol p.125–35, 2016.

ÖZER, S. **The effect of adding toluene to increase the combustion efficiency of biodiesel**, Journal homepage: <https://www.tandfonline.com/loi/ueso20>, Energy Sources, p. 2-15, 2020.

PATEL, C.; TIWARI, N.; AGARWAL, A. K. **Experimental investigations of Soyabean and Rapeseed SVO and biodiesels on engine noise, vibrations, and engine characteristics**. Fuel p.86-97, 2019.

PATEL, R.L., Sankhavara, C.D., **Investigation of performance and emissions of diesel engine run on biodiesel produced from karanja oil in a single-step transesterification process using a heterogeneous catalyst (lithium-impregnated calcium oxide)**. Biofuels 421–30, 2020. <https://doi.org/10.1080/17597269.2017.1370883>.

PALASH, S.M., et al., **State of the art of NOx mitigation technologies and their effect on the performance and emission characteristics of biodiesel-fueled compression ignition engines**. Energy Convers v. 76, 400–420, 2013. doi: 10.1016/j.enconman.2013.07.059.

PEDROZO, V.B., May, I., Guan, W., Zhao, H., **High efficiency ethanol-diesel dual-fuel combustion: A comparison against conventional diesel combustion from low to full engine load**. Fuel v. 230, 440–51, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.05.034>.

PRAVEENA, V., et al., 2023. **Experimental assessment on the performance, emission and combustion characteristics of a safflower oil fueled CI engine with hydrogen gas enrichment**. Fuel v. 334, 126682. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126682>.

RAJAK, U., Nashine, P., Verma, T.N., **Effect of spirulina microalgae biodiesel enriched with diesel fuel on performance and emission characteristics of CI engine**. Fuel 268, 117305, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117305>.

RAJAK, U., et al., **Effects of different biofuels and their mixtures with diesel fuel on diesel engine performance and exhausts**. Science of The Total Environment Available 166501, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166501>.

RAJENDRAN, S., Govindasamy, M., **Effect of isopropyl alcohol on the performance, combustion and emission characteristics variable compression ratio engine using rubber seed oil blends**. Energy Source Part A., 2021. <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.18874>.

ROY, M.M., Wang, W., Bujold, J., **Biodiesel production and comparison of emissions of a DI diesel engine fueled by biodiesel–diesel and canola oil–diesel blends at high idling operations**. Applied Energy v.106, 198-208, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.01.057>.

RAKOPOULOS, C.D., et al., E.G., **Comparative performance and emissions study of a direct injection diesel engine using blends of diesel fuel with vegetable oils or bio-diesels of various origins**. Energy Convers Manage v.47, 3272–87, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.01.006>.

RAMADHAS, A., Jayaraj, S., Muraleedharan, C., **Use of vegetable oils as I.C. enginefuels—a review**. Renewable Energy 29, 2003.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2003.09.008>.

RANJAN, A., Singh, S., Malani, R.S., Moholkar, V.S., **Ultrasound-assisted bioalcohol synthesis: review and analysis**. RSC Adv, 70, 65541–65562, 2016.
<https://doi.org/10.1039/c6ra11580b>.

ROY, M., Wang, W., Bujold, J., **Biodiesel production and comparison of emissions of a DI diesel engine fueled by biodiesel–diesel and canola oil–diesel blends at high idling operations**. Appl. Energy 106, 198–208, 2013.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.01.057>.

SANTOS, N. A., **Propriedades Termo-oxidativas e de fluxo do biodiesel de babaçu (*Orbignya phalerata*)**.(Mestrado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, p. 129, 2008.

SANTOS T. K., **Caracterização físico-química e desempenho de motor gerador operando com blendas de biodiesel de óleo de gergelim**. Dissertação de mestrado, p. 07-18, 2023.

SABZALIAN, M. R.; SAEIDI, G.; MIRLOHI, A. **Oil content and fatty acid composition in seeds of three safflower species**. Oil Chem, v. 85, p.717- 21, 2008.

SANLI, H. et al. **Effects of waste frying oil based methyl and ethyl ester biodiesel fuels on the performance, combustion and emission characteristics of a DI diesel engine**. Fuel, London v.159, p.179-187, 2015.

SARTO, M.V.M. et al. **Safflower root and shoot growth affected by soil compaction**, Bragantia, v.77, n.2, p.348-355, 2018.

SCHLOSSERL, J. F.; MACHADO P. R. M.; CAMARGO M. N. **Ciência Rural, Desempenho de misturas pré-aquecidas de óleo de soja cru e diesel como combustível para motores agrícolas**. Santa Maria, v.37, n.5, p.1329-1335, set-out, 2007 ISSN 0103-8478.

SECCO, D.; FERREIRA S. R.; ROSA A. H. et al. **Rentabilidade e propriedades físico-químicas do biodiesel de cinco espécies vegetais**, Cultivando o saber, Cascavel, v.5, n.3, p.22-32, 2012.

SILVA, F. N.; PRATA, A.S.; TEIXEIRA, J.R. **Technical feasibility assessment of oleic sunflower methyl ester utilization in diesel bus engine**, Energy Conversion & Management, v.44, p.2347-2365, 2003.

SAHOO, P., K., Das, L.M., **Combustion analysis of Jatropha, Karanja and Polanga based biodiesel as fuel in a diesel engine**. Fuel 88, 994-999, 2009.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.11.012>.

SAKTHIVEL, G., et al., **Comparative analysis of performance, emission and combustion parameters of diesel engine fuelled with ethyl ester of fish oil and its diesel blends**. Fuel, v. 132, 116-124, 2014.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2014.04.059>.

SAMUELSEN, G.S., et al., **Experimental and modelling investigation of the effect of air preheat on the formation of NO_x in an RQL combustor**. *Heat Mass Transf.* v. 49, 219–31, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00231-012-1080-0>.

SARIDEMIR, S., et al., **Investigating the role of fuel injection pressure change on performance characteristics of a DI-CI engine fuelled with methyl ester**. *Fuel*, v. 271, 17634, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117634>.

SCHÖNBORN, A., et al., **The influence of molecular structure of fatty acid monoalkyl esters on diesel combustion**. *Combustion and Flame* v. 156, 1396–1412, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2009.03.011>.

SHARMA, A., Murugan, S., **Potential for using a tyre pyrolysis oil-biodiesel blend in a diesel engine at different compression ratios**. *Energy Convers Manage* v. 93, 289–97, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.01.023>.

SHETE, M., Deshpande, H., Bhosale, S., **Experimental evaluation of performance and emission characteristics of different blends of ecofriendly Hibiscus and Coconut oil mixture on CRDI engine**. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, v. 54 – 2213, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102853>.

SILVEIRA, Vander & Siqueira, Jair & Ferreira Santos, Reginaldo & Caneppele, Fernando & Dieter, Jonathan & Prior, Maritane & Tokura, Luciene & Debastiani, Gilson & Lewandoski, Cristiano & Reis, Leonardo. **Motor gerador ciclo diesel assistido por sistemas de automação industrial (Indústria 4.0)**. *Research, Society and Development*, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i1>.

SINHA, S., Agarwal, A.K., **Experimental investigation of the combustion characteristics of a biodiesel (rice-bran oil methyl ester)-fuelled direct-injection transportation diesel engine**. *Proc Inst Mech Eng Part D: J Automob Eng* 221, 921–32, 2007. DOI:10.1243/09544070JAUTO220.

SORATE, K.A., **Biodiesel as a blended fuel in compression ignition engines**. *IJRET eISSN: 2319-1163*, 2013. | pISSN: 2321-7308.

SOUZA, J. de; SOUZA, S. N. M. de .; BASSEGIO, D.; SECCO, D.; VAZ , V.; NADALETI , W. C. .; GURGACZ, F. .; MACHADO JUNIOR, W. M., **Economic feasibility of electric power generation in a dual biogas-diesel engine in rural areas**. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 17, p. e106101724528, 2021. DOI:10.33448/rsd-v10i17.24528.

TALAPATRA, N., et al., **A comparative study of the growth of microalgae-bacteria symbiotic consortium with the axenic culture of microalgae in dairy wastewater through extraction and quantification of chlorophyll**. *Mater. Today Proc.* 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.227>.

TARANGAN, D., et al., **Physical properties, engine performance, and exhaust emissions of waste fish oil biodiesel/bioethanol/diesel fuel blends**. *Scientific Reports*. v. 13, 14024, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41280-5>.

THIYAGARAJAN, S., et al., **Effect of manifold injection of methanol/n-pentanol in safflower biodiesel fuelled CI engine**. Fuel 261, 116378, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116378>.

TANZER, E.; MURAT K. Y. **Influence of blending ratio on the physicochemical properties of safflower oil methyl ester-safflower oil, safflower oil methyl ester-diesel and safflower oil-diesel**. Departamento Biosystems Engineering, University of Bozok, Turkey. Science Direct, Article, Fuel Elsevier Ltd. 2016.

TURCHIELLO, A. **Biodiesel: alternativa energética, mercado, obtenção, propriedades físico-químicas e consumo/ desempenho**. Química Nova, v.28, n. 1, p. 19-23, 2005.

United Nations Department of Economic and Social Affairs, P.D., 2022. World Population Prospects 2022: Summary of Results. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3.

USTA, N. **An experimental study on performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with tobacco seed oil methyl ester**, Energy Conversion and Management v.46, p. 2373–2386, 2005.

UYUMAZ, A. **Experimental evaluation of linseed oil biodiesel/diesel fuel blends on combustion, performance and emission characteristics in a DI diesel engine**. Article Fuel v. 267, 2020. doi: 10.1016/j.fuel.2020.117150.

USLU S., et al., Energy Conversion and Management. v. 293, 117457, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117457>.

YUNUS, S., et al. **An overview of palm, jatropha and algae as a potential biodiesel feedstock in Malaysia**. Article 2nd International Conference on Mechanical Engineering Research ICMER, 2013.

YESILYURT, M.K.; et al. **The production of biodiesel from safflower (Carthamus tinctorius L.) oil as a potencial feedstock and is usage in compression ignition engine**. Energy Reviews, p. 30, 2020.

VAN, J.G. et al. **Biodiesel Production Technology**. Report, Iowa State University, National Renewable Energy Laboratory, 2002-2004. Disponível em: <http://www.fischer-tropsch.org/DOE/DOE_reports/NREL/SR-510/SR-510-36244/SR-510-36244.pdf> Acesso em: 08 fev. 2021.

VOLPATO, C. E. S.; et al. **Desempenho de motor diesel quatro tempos alimentado com biodiesel de óleo de soja (B 100)**. Revista Ciência Agrotecnológica, v.33, p.1125-1130, 2009.

VARGHESE, G., et al., **Effects of biodiesel degree of unsaturation, chain length and physical properties on tailpipe oxides of nitrogen (NOx)**. Journal of the Energy 105, 355-366, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2022.10.001>.

VIJAYAKUMAR, C., et al., **Biodiesel from plant seed oils as an alternate fuel for compression ignition engines—a review**. Environ Sci Pollut Res, 23, 24711–24730, 2016. DOI 10.1007/s11356-016-7754-2.

VELLAIYAN, S., **Recent advancements in water emulsion fuel to explore efficient and cleaner production from various biodiesels review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 187, 113704, 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113704>

VENKATESAN E. P. et al., **Performance and Emission Analysis of Biodiesel Blends in a Low Heat Rejection Engine with an Antioxidant Additive: An Experimental Study,** ACS publications v. 8 Issue 40, 2023.
<https://doi.org/10.1021/acsomega.3c02742>

VIRGENS, I. O. et al. Revisão: *Jatropha curcas* L.: **aspectos morfofisiológicos e químicos.** Braz. J. Food Technology. Campinas, v. 20, 2017.

WANG, Y.D., et al., **An experimental investigation of the performance and gaseous exhaust emissions of a diesel engine using blends of a vegetable oil.** Appl Therm Eng, 26, 1684–91, 2005.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2005.11.013>.

WANG, H., Fu, Z., Lu, W. et al. **Research on sulphur oxides and nitric oxides released from coal-fired flue gas and vehicle exhaust: a bibliometric analysis.** Environ Sci Pollut Res 26, 17821–17833, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05066-5>.he

WHO, WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Emissions and particulates harmful health.** disponível em: <https://www.who.int/tools/air-quality-standards>, Acesso em: 6 maio 2025.

YASIN, M. M., et al., **Characterization of a diesel engine operating with a small proportion of methanol as a fuel additive in biodiesel blend.** Applied Energy, 114, 865-873, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.06.012>.

YESILYURT, M. K., et al., **The production of biodiesel from safflower (*Carthamus tinctorius* L.) oil as a potencial feedstock and is usage in compression ignition engine.** Energy Reviews, v. 119, p.30, 2020. doi: 10.1016/j.rser.2019.109574.

ZANG, Yu., Boehman, A.L., **Impact of Biodiesel on NOx Emissions in a Common Rail Direct Injection Diesel Engine.** Energy & Fuels, v. 21, 2003-2005, 2007.
<https://doi.org/10.1021/ef0700073>.

ŻARSKA M., Bartoszek K., Dzida M., **High pressure physicochemical properties of biodiesel components derived from coconut oil or babassu oil,** Fuel, v. 125, p. 144-151, ISSN 0016-2361, 2014.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.01.104>.

APÊNDICES

<p>CV (%) = 4.72 Média geral: 1.0613333 Número de observações: 15</p> <hr/> <p style="text-align: center;">Teste Tukey para a FV AMOSTRA</p> <hr/> <p>DMS: 0,134598997281068 NMS: 0,05</p> <hr/> <p>Média harmonica do número de repetições (r): 3 Erro padrão: 0,0285059778515717</p> <hr/> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Tratamentos</th> <th style="text-align: left;">Médias</th> <th style="text-align: left;">Resultados do teste</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>500 b100</td><td>0.986667</td><td>a1</td></tr> <tr><td>500 b20</td><td>1.060000</td><td>a1</td></tr> <tr><td>500 b10</td><td>1.060000</td><td>a1</td></tr> <tr><td>500 diesel</td><td>1.100000</td><td>a1</td></tr> <tr><td>500 b15</td><td>1.100000</td><td>a1</td></tr> </tbody> </table>	Tratamentos	Médias	Resultados do teste	500 b100	0.986667	a1	500 b20	1.060000	a1	500 b10	1.060000	a1	500 diesel	1.100000	a1	500 b15	1.100000	a1	<p>CV (%) = 3.88 Média geral: 0.5840000 Número de observações: 15</p> <hr/> <p style="text-align: center;">Teste Tukey para a FV AMOSTRA</p> <hr/> <p>DMS: 0,0609106542964321 NMS: 0,05</p> <hr/> <p>Média harmonica do número de repetições (r): 3 Erro padrão: 0,0130809448802324</p> <hr/> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Tratamentos</th> <th style="text-align: left;">Médias</th> <th style="text-align: left;">Resultados do teste</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1000 b20</td><td>0.530000</td><td>a1</td></tr> <tr><td>1000 b100</td><td>0.560000</td><td>a1 a2</td></tr> <tr><td>1000 b15</td><td>0.590000</td><td>a1 a2 a3</td></tr> <tr><td>1000 b10</td><td>0.616667</td><td>a2 a3</td></tr> <tr><td>1000 diesel</td><td>0.623333</td><td>a3</td></tr> </tbody> </table>	Tratamentos	Médias	Resultados do teste	1000 b20	0.530000	a1	1000 b100	0.560000	a1 a2	1000 b15	0.590000	a1 a2 a3	1000 b10	0.616667	a2 a3	1000 diesel	0.623333	a3
Tratamentos	Médias	Resultados do teste																																			
500 b100	0.986667	a1																																			
500 b20	1.060000	a1																																			
500 b10	1.060000	a1																																			
500 diesel	1.100000	a1																																			
500 b15	1.100000	a1																																			
Tratamentos	Médias	Resultados do teste																																			
1000 b20	0.530000	a1																																			
1000 b100	0.560000	a1 a2																																			
1000 b15	0.590000	a1 a2 a3																																			
1000 b10	0.616667	a2 a3																																			
1000 diesel	0.623333	a3																																			

<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">FV</th> <th style="text-align: left;">GL</th> <th style="text-align: left;">SQ</th> <th style="text-align: left;">QM</th> <th style="text-align: left;">Fc</th> <th style="text-align: left;">Pr>Fc</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>AMOSTRA</td><td>4</td><td>0.011760</td><td>0.002940</td><td>8.167</td><td>0.0034</td></tr> <tr><td>erro</td><td>10</td><td>0.003600</td><td>0.000360</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Total corrigido</td><td>14</td><td>0.015360</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> <p>CV (%) = 3.95 Média geral: 0.4760000 Número de observações: 15</p> <hr/> <p style="text-align: center;">Teste Tukey para a FV AMOSTRA</p> <hr/> <p>DMS: 0,0510087618602454 NMS: 0,05</p> <hr/> <p>Média harmonica do número de repetições (r): 3 Erro padrão: 0,0109544511501033</p> <hr/> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Tratamentos</th> <th style="text-align: left;">Médias</th> <th style="text-align: left;">Resultados do teste</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1500 b20</td><td>0.430000</td><td>a1</td></tr> <tr><td>1500 b100</td><td>0.463333</td><td>a1 a2</td></tr> <tr><td>1500 b10</td><td>0.483333</td><td>a2</td></tr> <tr><td>1500 diesel</td><td>0.490000</td><td>a2</td></tr> <tr><td>1500 b15</td><td>0.513333</td><td>a2</td></tr> </tbody> </table>	FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	AMOSTRA	4	0.011760	0.002940	8.167	0.0034	erro	10	0.003600	0.000360			Total corrigido	14	0.015360				Tratamentos	Médias	Resultados do teste	1500 b20	0.430000	a1	1500 b100	0.463333	a1 a2	1500 b10	0.483333	a2	1500 diesel	0.490000	a2	1500 b15	0.513333	a2	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">FV</th> <th style="text-align: left;">GL</th> <th style="text-align: left;">SQ</th> <th style="text-align: left;">QM</th> <th style="text-align: left;">Fc</th> <th style="text-align: left;">Pr>Fc</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>AMOSTRA</td><td>4</td><td>0.016067</td><td>0.004017</td><td>19.435</td><td>0.0001</td></tr> <tr><td>erro</td><td>10</td><td>0.002067</td><td>0.000207</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Total corrigido</td><td>14</td><td>0.018133</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> <p>CV (%) = 3.22 Média geral: 0.4466667 Número de observações: 15</p> <hr/> <p style="text-align: center;">Teste Tukey para a FV AMOSTRA</p> <hr/> <p>DMS: 0,0386481534660172 NMS: 0,05</p> <hr/> <p>Média harmonica do número de repetições (r): 3 Erro padrão: 0,00825993306532583</p> <hr/> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Tratamentos</th> <th style="text-align: left;">Médias</th> <th style="text-align: left;">Resultados do teste</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2000 b20</td><td>0.393333</td><td>a1</td></tr> <tr><td>2000 diesel</td><td>0.440000</td><td>a2</td></tr> <tr><td>2000 b100</td><td>0.440000</td><td>a2</td></tr> <tr><td>2000 b10</td><td>0.470000</td><td>a2 a3</td></tr> <tr><td>2000 b15</td><td>0.490000</td><td>a3</td></tr> </tbody> </table>	FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	AMOSTRA	4	0.016067	0.004017	19.435	0.0001	erro	10	0.002067	0.000207			Total corrigido	14	0.018133				Tratamentos	Médias	Resultados do teste	2000 b20	0.393333	a1	2000 diesel	0.440000	a2	2000 b100	0.440000	a2	2000 b10	0.470000	a2 a3	2000 b15	0.490000	a3
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc																																																																																
AMOSTRA	4	0.011760	0.002940	8.167	0.0034																																																																																
erro	10	0.003600	0.000360																																																																																		
Total corrigido	14	0.015360																																																																																			
Tratamentos	Médias	Resultados do teste																																																																																			
1500 b20	0.430000	a1																																																																																			
1500 b100	0.463333	a1 a2																																																																																			
1500 b10	0.483333	a2																																																																																			
1500 diesel	0.490000	a2																																																																																			
1500 b15	0.513333	a2																																																																																			
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc																																																																																
AMOSTRA	4	0.016067	0.004017	19.435	0.0001																																																																																
erro	10	0.002067	0.000207																																																																																		
Total corrigido	14	0.018133																																																																																			
Tratamentos	Médias	Resultados do teste																																																																																			
2000 b20	0.393333	a1																																																																																			
2000 diesel	0.440000	a2																																																																																			
2000 b100	0.440000	a2																																																																																			
2000 b10	0.470000	a2 a3																																																																																			
2000 b15	0.490000	a3																																																																																			

<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">FV</th> <th style="text-align: left;">GL</th> <th style="text-align: left;">SQ</th> <th style="text-align: left;">QM</th> <th style="text-align: left;">Fc</th> <th style="text-align: left;">Pr>Fc</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>AMOSTRA</td><td>4</td><td>0.016067</td><td>0.004017</td><td>19.435</td><td>0.0001</td></tr> <tr><td>erro</td><td>10</td><td>0.002067</td><td>0.000207</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Total corrigido</td><td>14</td><td>0.018133</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> <p>CV (%) = 3.22 Média geral: 0.4466667 Número de observações: 15</p> <hr/> <p style="text-align: center;">Teste t (Bonferroni) para a FV AMOSTRA</p> <hr/> <p>DMS: 0,0420382751501765 NMS: 0,05</p> <hr/> <p>Média harmonica do número de repetições (r): 3 Erro padrão: 0,00825993306532583</p> <hr/> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Tratamentos</th> <th style="text-align: left;">Médias</th> <th style="text-align: left;">Resultados do teste</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2000 b20</td><td>0.393333</td><td>a1</td></tr> <tr><td>2000 diesel</td><td>0.440000</td><td>a2</td></tr> <tr><td>2000 b100</td><td>0.440000</td><td>a2</td></tr> <tr><td>2000 b10</td><td>0.470000</td><td>a2 a3</td></tr> <tr><td>2000 b15</td><td>0.490000</td><td>a3</td></tr> </tbody> </table>	FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	AMOSTRA	4	0.016067	0.004017	19.435	0.0001	erro	10	0.002067	0.000207			Total corrigido	14	0.018133				Tratamentos	Médias	Resultados do teste	2000 b20	0.393333	a1	2000 diesel	0.440000	a2	2000 b100	0.440000	a2	2000 b10	0.470000	a2 a3	2000 b15	0.490000	a3	<p style="text-align: center;">TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">FV</th> <th style="text-align: left;">GL</th> <th style="text-align: left;">SQ</th> <th style="text-align: left;">QM</th> <th style="text-align: left;">Fc</th> <th style="text-align: left;">Pr>Fc</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>AMOSTRA</td><td>4</td><td>0.022707</td><td>0.005677</td><td>25.044</td><td>0.0000</td></tr> <tr><td>erro</td><td>10</td><td>0.002267</td><td>0.000227</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Total corrigido</td><td>14</td><td>0.024973</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> <p>CV (%) = 3.11 Média geral: 0.4846667 Número de observações: 15</p> <hr/> <p style="text-align: center;">Teste t (Bonferroni) para a FV AMOSTRA</p> <hr/> <p>DMS: 0,044025419211232 NMS: 0,05</p> <hr/> <p>Média harmonica do número de repetições (r): 3 Erro padrão: 0,00869226987360353</p> <hr/> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Tratamentos</th> <th style="text-align: left;">Médias</th> <th style="text-align: left;">Resultados do teste</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2500 b20</td><td>0.423333</td><td>a1</td></tr> <tr><td>2500 diesel</td><td>0.456667</td><td>a1 a2</td></tr> <tr><td>2500 b100</td><td>0.500000</td><td>a2 a3</td></tr> <tr><td>2500 b10</td><td>0.516667</td><td>a3</td></tr> <tr><td>2500 b15</td><td>0.526667</td><td>a3</td></tr> </tbody> </table>	FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	AMOSTRA	4	0.022707	0.005677	25.044	0.0000	erro	10	0.002267	0.000227			Total corrigido	14	0.024973				Tratamentos	Médias	Resultados do teste	2500 b20	0.423333	a1	2500 diesel	0.456667	a1 a2	2500 b100	0.500000	a2 a3	2500 b10	0.516667	a3	2500 b15	0.526667	a3
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc																																																																																
AMOSTRA	4	0.016067	0.004017	19.435	0.0001																																																																																
erro	10	0.002067	0.000207																																																																																		
Total corrigido	14	0.018133																																																																																			
Tratamentos	Médias	Resultados do teste																																																																																			
2000 b20	0.393333	a1																																																																																			
2000 diesel	0.440000	a2																																																																																			
2000 b100	0.440000	a2																																																																																			
2000 b10	0.470000	a2 a3																																																																																			
2000 b15	0.490000	a3																																																																																			
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc																																																																																
AMOSTRA	4	0.022707	0.005677	25.044	0.0000																																																																																
erro	10	0.002267	0.000227																																																																																		
Total corrigido	14	0.024973																																																																																			
Tratamentos	Médias	Resultados do teste																																																																																			
2500 b20	0.423333	a1																																																																																			
2500 diesel	0.456667	a1 a2																																																																																			
2500 b100	0.500000	a2 a3																																																																																			
2500 b10	0.516667	a3																																																																																			
2500 b15	0.526667	a3																																																																																			

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
AMOSTRA	4	0.022707	0.005677	25.044	0.0000
erro	10	0.002267	0.000227		
Total corrigido	14	0.024973			
CV (%) =	3.11				
Média geral:	0.4946667	Número de observações:	15		

Teste Tukey para a FV AMOSTRA					

DMS: 0,0404750468948365 NMS: 0,05					

Média harmonica do número de repetições (r): 3					
Erro padrão: 0,00869226987360353					

Tratamentos		Médias		Resultados do teste	
2500 b20		0.423333	a1		
2500 b100		0.456667	a1		
2500 diesel		0.500000	a2		
2500 b10		0.516667	a2		
2500 b15		0.526667	a2		

CO ppm BABAÇU

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc	FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
AMOSTRA_50	4	316865.733333	79216.433333	45.369	0.0000	AMOST_1000	4	127074.666667	31768.666667	32.224	0.0000
erro	10	17460.666667	1746.066667			erro	10	9850.666667	985.066667		
Total corrigido	14	334326.400000				Total corrigido	14	136933.333333			
CV (%) =	4.64					CV (%) =	4.36				
Média geral:	901.2000000	Número de observações:	15			Média geral:	720.3333333	Número de observações:	15		
-----						-----					
Teste Tukey para a FV AMOSTRA_50						Teste Tukey para a FV AMOST_1000					
-----						-----					
DMS: 112,337289876432 NMS: 0,05						DMS: 84,411695389349 NMS: 0,05					
-----						-----					
Média harmonica do número de repetições (r): 3						Média harmonica do número de repetições (r): 3					
Erro padrão: 24,1251367296068						Erro padrão: 18,1279403745215					
-----						-----					
Tratamentos		Médias		Resultados do teste		Tratamentos		Médias		Resultados do teste	
bb100		681.666667	a1			bb100		596.333333	a1		
bb20		832.666667	a2			bb20		660.333333	a1 a2		
bb15		882.333333	a2			bb15		701.666667	a2		
bb10		1003.333333	a3			bb10		786.333333	a3		
b0		1106.000000	a3			b0		857.000000	a3		

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
AMOST_1500	4	81419.733333	20354.933333	13.830	0.0004
erro	10	14718.000000	1471.800000		
Total corrigido	14	96137.733333			
CV (%) =	5.47				
Média geral:	701.466667	Número de observações:	15		

Teste Tukey para a FV AMOST_1500

DMS: 103,137816038556 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 22,1494920934996

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
bb100	€17.333333	a1
bb20	€40.000000	a1 a2
bb15	€92.000000	a1 a2
bb10	733.333333	a2 a3
b0	824.666667	a3

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
AMOST_2500	4	150968.933333	37742.233333	3.466	0.0505
erro	10	108904.666667	10890.466667		
Total corrigido	14	259873.600000			
CV (%) =	3.12				
Média geral:	3345.400000	Número de observações:	15		

Teste Tukey para a FV AMOST_2500

DMS: 280,554201300505 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: €0,2507722403253

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
bb100	3237.333333	a1
bb20	3241.666667	a1
bb10	3337.666667	a1
bb15	3412.000000	a1
b0	3498.333333	a1

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
AMOST_2000	4	526961.600000	231740.400000	63.933	0.0000
erro	10	36247.333333	3624.733333		
Total corrigido	14	963208.933333			
CV (%) =	4.20				
Média geral:	1432.266667	Número de observações:	15		

Teste Tukey para a FV AMOST_2000

DMS: 161,857028284006 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 34,7598107653716

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
bb20	1148.666667	a1
bb100	1184.000000	a1
bb15	1438.000000	a2
bb10	1576.000000	a2
b0	1814.666667	a3

NOx ppm BABAÇU

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
AMOST_500	4	1296.933333	324.233333	15.440	0.0003
erro	10	210.000000	21.000000		
Total corrigido	14	1506.933333			
CV (%) =	4.93				
Média geral:	92.933333	Número de observações:	15		

Teste Tukey para a FV AMOST_500

DMS: 12,3197864245579 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: 2,64575131106455

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Amostra 100	76.666667	a1
Amostra 15	89.000000	a2
Amostra 20	97.000000	a2 a3
Amostra 10	99.333333	a2 a3
Amostra 0	102.666667	a3

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
AMOST_1	4	2412.266667	603.066667	4.140	0.0312
erro	10	1456.666667	145.666667		
Total corrigido	14	3868.933333			
CV (%) =	6.83				
Média geral:	176.733333	Número de observações:	15		

Teste Tukey para a FV AMOST_1

DMS: 32,446930812841 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
Erro padrão: €,96918165345562

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
Amostra 100	154.333333	a1
Amostra 20	173.666667	a1 a2
Amostra 15	178.333333	a1 a2
Amostra 0	187.000000	a2
Amostra 10	190.333333	a2

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
AMOST_2K	4	4330.000000	1082.500000	6.289	0.0085
erro	10	1721.333333	172.133333		
Total corrigido	14	6051.333333			
CV (%) =	6.35				
Média geral:	206.666667	Número de observações:	15		
Teste Tukey para a FV AMOST_2K					
DMS: 35,2716658739599 NMS: 0,05					
Média harmonica do número de repetições (r): 3 Erro padrão: 7,5748120220939					
Tratamentos		Médias	Resultados do teste		
Amostra 100		173.666667	a1		
Amostra 0		207.333333	a1 a2		
Amostra 15		216.333333	a2		
Amostra 20		216.666667	a2		
Amostra 10		219.333333	a2		

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
AMOST_2	4	3756.266667	939.066667	9.219	0.0022
erro	10	1019.666667	101.966667		
Total corrigido	14	4774.933333			
CV (%) =	5.10				
Média geral:	198.066667	Número de observações:	15		
Teste Tukey para a FV AMOST_2					
DMS: 27,1337350017883 NMS: 0,05					
Média harmonica do número de repetições (r): 3 Erro padrão: 5,82713956890991					
Tratamentos		Médias	Resultados do teste		
Amostra 100		167.333333	a1		
Amostra 0		200.666667	a2		
Amostra 10		202.666667	a2		
Amostra 15		208.666667	a2		
Amostra 20		211.000000	a2		

EGT °C BABAÇU

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
AMOST_500	4	160.533333	40.233333	0.841	0.5301
erro	10	479.666667	47.966667		
Total corrigido	14	639.600000			
CV (%) =	3.75				
Média geral:	184.600000	Número de observações:	15		
Teste Tukey para a FV AMOST_500					
DMS: 18,5998792246076 NMS: 0,05					
Média harmonica do número de repetições (r): 3 Erro padrão: 3,99444058105206					
Tratamentos		Médias	Resultados do teste		
500 b100		182.333333	a1		
500 diesel		182.666667	a1		
500 b10		182.666667	a1		
500 b20		184.333333	a1		
500 b15		191.000000	a1		

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
AMOST1000	4	818.266667	204.566667	0.458	0.7650
erro	10	4465.333333	446.533333		
Total corrigido	14	5283.600000			
CV (%) =	5.45				
Média geral:	222.600000	Número de observações:	15		
Teste Tukey para a FV AMOST1000					
DMS: 56,8094354807743 NMS: 0,05					
Média harmonica do número de repetições (r): 3 Erro padrão: 12,2001821480027					
Tratamentos		Médias	Resultados do teste		
b100		209.666667	a1		
diesel		220.000000	a1		
b10		225.000000	a1		
b20		227.333333	a1		
b15		231.000000	a1		

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
AMOST1500	4	1717.066667	429.266667	0.319	0.8887
erro	10	13440.666667	1344.066667		
Total corrigido	14	15157.733333			
CV (%) =	13.71				
Média geral:	267.466667	Número de observações:	15		
Teste Tukey para a FV AMOST1500					
DMS: 98,5607957682159 NMS: 0,05					
Média harmonica do número de repetições (r): 3 Erro padrão: 21,86538492664					
Tratamentos		Médias	Resultados do teste		
b100		246.333333	a1		
b20		270.666667	a1		
diesel		271.666667	a1		
b15		279.000000	a1		
b10		275.666667	a1		

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
AMOST2000	4	6954.400000	1738.600000	0.712	0.6022
erro	10	24417.333333	2441.733333		
Total corrigido	14	31371.733333			
CV (%) =	15.30				
Média geral:	322.866667	Número de observações:	15		
Teste Tukey para a FV AMOST2000					
DMS: 132,844215241503 NMS: 0,05					
Média harmonica do número de repetições (r): 3 Erro padrão: 28,5291274158729					
Tratamentos		Médias	Resultados do teste		
b100		291.333333	a1		
diesel		323.666667	a1		
b15		331.333333	a1		
b20		338.666667	a1		
b10		339.333333	a1		

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
AMOST2000	4	6686.266667	1671.566667	0.735	0.5888
erro	10	22747.333333	2274.733333		
Total corrigido	14	29433.600000			
CV (%) =	11.53				
Média geral:	413.6000000	Número de observações:	15		

Teste Tukey para a FV AMOST2000					

DMS: 128,220887165459 NMS: 0,05					

Média harmonica do número de repetições (r): 3					
Erro padrão: 27,5362387490457					

Tratamentos	Médias	Resultados do teste			
b100	375.333333	a1			
diesel	407.000000	a1			
b15	423.000000	a1			
b20	430.000000	a1			
b10	432.666667	a1			

HC ppm BABAÇU

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
AMOST500	4	78.933333	19.733333	2.596	0.1007
erro	10	76.000000	7.600000		
Total corrigido	14	154.933333			
CV (%) =	9.48				
Média geral:	29.0666667	Número de observações:	15		

Teste Tukey para a FV AMOST500					

DMS: 7,41140127279805 NMS: 0,05					

Média harmonica do número de repetições (r): 3					
Erro padrão: 1,59164485150844					

Tratamentos	Médias	Resultados do teste			
500 b100	26.333333	a1			
500 b10	27.666667	a1			
500 b20	28.333333	a1			
500 b15	30.000000	a1			
500 diesel	33.000000	a1			

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
AMOST_1K	4	76.933333	19.233333	6.709	0.0068
erro	10	28.666667	2.866667		
Total corrigido	14	105.600000			
CV (%) =	6.41				
Média geral:	26.4000000	Número de observações:	15		

Teste Tukey para a FV AMOST_1K					

DMS: 4,56178908294137 NMS: 0,05					

Média harmonica do número de repetições (r): 3					
Erro padrão: 0,977525219907679					

Tratamentos	Médias	Resultados do teste			
b10	24.000000	a1			
b100	24.666667	a1			
b15	25.666667	a1			
b20	27.333333	a1 a2			
diesel	30.333333	a2			

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
AMOST_1K	4	70.400000	17.600000	7.543	0.0045
erro	10	23.333333	2.333333		
Total corrigido	14	93.733333			
CV (%) =	5.85				
Média geral:	26.133333	Número de observações:		15	

Teste Tukey para a FV AMOST_1K					

DMS: 4,10659547485264 NMS: 0,05					

Média harmonica do número de repetições (r): 3					
Erro padrão: 0,881917103688197					

Tratamentos		Médias	Resultados do teste		
b10		24.333333	a1		
b15		24.666667	a1		
b20		25.666667	a1		
b100		25.666667	a1		
diesel		30.333333	a2		

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
AMOST_1K	4	280.266667	70.066667	9.060	0.0023
erro	10	77.333333	7.733333		
Total corrigido	14	357.600000			
CV (%) =	6.85				
Média geral:	40.600000	Número de observações:		15	

Teste Tukey para a FV AMOST_1K					

DMS: 7,47613089718262 NMS: 0,05					

Média harmonica do número de repetições (r): 3					
Erro padrão: 1,60554594383897					

Tratamentos		Médias	Resultados do teste		
b100		35.333333	a1		
b20		37.666667	a1		
b15		40.000000	a1		
b10		42.000000	a1 a2		
diesel		48.000000	a2		

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
AMOST_2	4	571.066667	142.766667	8.998	0.0024
erro	10	158.666667	15.866667		
Total corrigido	14	729.733333			
CV (%) =	5.03				
Média geral:	79.133333	Número de observações:		15	

Teste Tukey para a FV AMOST_2					

DMS: 10,7086908387415 NMS: 0,05					

Média harmonica do número de repetições (r): 3					
Erro padrão: 2,29975844142138					

Tratamentos		Médias	Resultados do teste		
b100		71.333333	a1		
b20		76.333333	a1		
b15		77.666667	a1		
b10		80.333333	a1 a2		
diesel		90.000000	a2		