

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**DESEMPENHO DE TRATOR AGRÍCOLA EM FUNÇÃO DAS
PROPORÇÕES DE MISTURA E TIPO DE BIODIESEL**

Marcos Silva Tavares

Engenheiro agrônomo

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**DESEMPENHO DE TRATOR AGRÍCOLA EM FUNÇÃO DAS
PROPORÇÕES DE MISTURA E TIPO DE BIODIESEL**

Discente: Marcos Silva Tavares

Orientador: Prof. Dr. Afonso Lopes

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo)

T231d

Tavares, Marcos Silva

Desempenho de trator agrícola em função das proporções de mistura e tipo de biodiesel / Marcos Silva Tavares. -- Jaboticabal, 2022

65 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Afonso Lopes

1. Biocombustíveis. 2. Consumo. 3. Matérias-primas. 4. Renováveis. I. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DESEMPENHO DE TRATOR AGRÍCOLA EM FUNÇÃO DAS PROPORÇÕES DE MISTURA E TIPO DE BIODIESEL

AUTOR: MARCOS SILVA TAVARES

ORIENTADOR: AFONSO LOPES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. AFONSO LOPES (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas DECEX / FCAV UNESP Jaboticabal

Prof. Dr. FELIPE THOMAZ DA CAMARA (Participação Virtual)
Universidade Federal do Ceará / Câmpus Cariri - Juazeiro do Norte/CE

Prof. Dr. CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas (DECEX) / FCAV UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 25 de janeiro de 2022



DADOS CURRICULARES DO AUTOR

MARCOS SILVA TAVARES – Natural de Barbalha - CE, nascido em 2 janeiro de 1997, filho de João Tavares e Maria Silva, é bacharel em Engenharia agrônômica pela Universidade Federal do Cariri – UFCA (2015-2020). Foi bolsista de extensão universitária por 3 anos, desenvolvendo trabalhos vinculados a projetos voltados para o desenvolvimento de tecnologias sociais e implantação da cultura do melão no Cariri. Integrou o Programa de Educação Tutorial – PET-Agro, onde trabalhou com experimentos de campo com diversas culturas, envolvendo nutrição de plantas e máquinas e mecanização agrícola. Foi orientado pelo Prof. Dr. Felipe Thomaz da Camara. Em 2020, iniciou o curso de mestrado acadêmico no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal, São Paulo, onde trabalhou na área de engenharia de água e solo, atuando com biodiesel proveniente de diversas matérias-primas sob orientação do Prof. Dr. Afonso Lopes.

“Um homem não descobrirá novos oceanos a menos que tenha coragem
de perder de vista o litoral onde se encontra.”

“André Gide”

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo amor incondicional, por ser o Deus das novas oportunidades a cada nascer do sol e por mostrar-se presente nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais João e Maria por todas as coisas.

Aos meus irmãos pela infância e bons momentos compartilhados na zona rural.

Ao meu primo (irmão) Ronaldo pelas atitudes que dispensam singelos comentários.

Ao meu avô Francisco Tavares (em memória) pelo exemplo de integridade.

Aos meus primos Samuel, Lucas, Daniel e Natanael pelos momentos de alegria.

Ao meu tio Raimundo e minha prima Rita pela ajuda.

Ao Professor Dr. Afonso Lopes, pela orientação, ensinamentos profissionais e pessoais e colaboração no trabalho.

Ao Professor Dr. Felipe Thomaz da Camara, por compartilhar seus conhecimentos na graduação, momentos proveitosos durante as atividades de extensão e pesquisa, pela coorientação no mestrado e pela amizade.

Ao professor Carlos Eduardo Angeli Furlani pelo auxílio prestado durante o mestrado e contribuições na escrita do trabalho.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – FCAV/UNESP, pela oportunidade de realização do curso.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), Alan, Ricardo, Gener e Rafael pelos conhecimentos transmitidos durante o mestrado.

Aos colegas Antonio, Leandro, João, Lucas e Romário, pela convivência, amizade e por todos os momentos proveitosos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Obrigado!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT	ii
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Modelo energético global baseado no uso de combustíveis fósseis	3
2.1.1 Fontes renováveis na oferta interna de energia	5
2.1.2 Demanda futura por fontes renováveis de energia	7
2.1.3 Motor ciclo diesel	8
2.2 Biocombustíveis	10
2.2.1 Política mundial para produção e uso de biocombustíveis	10
2.2.2 Histórico nacional de adesão aos biocombustíveis	13
2.3 Biodiesel.....	14
2.3.1 Evolução do percentual mínimo de biodiesel adicionado ao diesel s50 no mundo e no Brasil	17
2.3.2 Principais matérias-primas para produção do biodiesel no Brasil.....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 Local do experimento.....	22
3.2 Biodiesel utilizados.....	22
3.3 Diesel utilizado	22
3.4 Delineamento experimental.....	23
3.5 Trator de teste e trator de frenagem	24
3.6 Condução dos testes e informações obtidas.....	25
3.7 Variáveis analisadas.....	26
3.7.1 Velocidade de deslocamento.....	26
3.7.2 Força na barra de tração	26
3.7.3 Potência na barra de tração	27
3.7.4 Consumo de combustível e temperaturas de ida e retorno	27

3.7.5 Consumo horário volumétrico de combustível.....	27
3.7.6 Consumo horário ponderal de combustível	28
3.7.7 Consumo específico de combustível	29
3.7.8 Variação da temperatura das misturas	29
3.8 Variação da densidade das misturas.....	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
5. CONCLUSÕES.....	44
6. REFERÊNCIAS.....	45

DESEMPENHO DE TRATOR AGRÍCOLA EM FUNÇÃO DAS PROPORÇÕES DE MISTURA E TIPO DE BIODIESEL

RESUMO - A crescente demanda global por energias limpas devido às emissões de gases do efeito estufa associada a futura esgotabilidade dos recursos fósseis têm incentivado a busca por fontes renováveis de energia, dentre as quais o biodiesel tem se destacado na substituição gradual ao diesel. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de um trator agrícola alimentado com quatro tipos de biodiesel (amendoim, girassol, óleo residual de frituras e soja) adicionados ao diesel S50 em 5 proporções (0, 25, 50, 75 e 100% de biodiesel). Os ensaios foram realizados no laboratório de biocombustível e ensaio de máquinas da FCAV/UNESP. Para realização dos testes, utilizou-se de um trator instrumentado da marca Valtra BM100 4x2 TDA com potência de 74 kW (100cv) no motor. Avaliou-se a força de tração na barra, velocidade de deslocamento, potência na barra de tração, temperaturas e variações de ida e retorno das misturas, variação da densidade das misturas, consumo volumétrico, consumo ponderal e consumo específico. Os fatores tipo e proporção das misturas não influenciaram significativamente as variáveis força de tração na barra (FT), velocidade de deslocamento (V) e potência na barra (PB) a 5% de probabilidade. O uso de 100% de biodiesel de girassol e soja sofreram menor aquecimento em relação ao diesel ao retornar ao tanque. O fator proporção influenciou ($p < 0,01$) o consumo horário volumétrico, sendo o diesel 12,3% mais eficiente que o uso de 100% de biodiesel. O consumo ponderal foi influenciado pelo tipo de biodiesel nas combinações de mistura 75% e 100%, destacando-se o de girassol com os menores valores. O diesel apresentou o menor consumo ponderal e específico quando comparado às demais misturas, $10,6 \text{ kg h}^{-1}$ e 328 g kW h^{-1} , respectivamente.

Palavras-chave: Biocombustíveis, consumo, matérias-primas, misturas, renováveis, trator

AGRICULTURAL TRACTOR PERFORMANCE AS A FUNCTION OF BLENDS PROPORTIONS AND TYPE OF BIODIESEL

ABSTRACT - The growing global demand for clean energy due to greenhouse gas emissions associated with the future exhaustion of fossil resources has encouraged the search for renewable energy sources, among which biodiesel has stood out in the gradual replacement of diesel. In this sense, the present work aimed to evaluate the performance of an agricultural tractor fed with four types of biodiesel (peanut, sunflower, residual oil from frying and soybean) added to diesel S50 in 5 proportions (0, 25, 50, 75 and 100% biodiesel). The tests were carried out at the FCAV/UNESP Biofuel and Machine Testing Laboratory. To carry out the tests, a Valtra BM100 4x2 TDA instrumented tractor with a power of 74 kW (100 hp) in the engine was used. The traction force on the bar, displacement speed, power on the traction bar, temperatures and variations in the flow and return of the mixtures, variation in the density of the mixtures, volumetric consumption, weight consumption and specific consumption were evaluated. The type and proportion factors of the mixtures did not significantly influence the variables bar traction force (FT), displacement speed (V) and bar power (PB) at 5% probability. The use of 100% sunflower and soybean biodiesel suffered less heating compared to diesel when returning to the tank. The proportion factor influenced ($p < 0.01$) the hourly volumetric consumption, with diesel being 12.3% more efficient than the use of 100% biodiesel. The weight consumption was influenced by the type of biodiesel in the combinations of 75% and 100%, highlighting the sunflower with the lowest values. Diesel had the lowest weight and specific consumption when compared to the other mixtures, 10.6 kg h⁻¹ and 328 g kW h⁻¹, respectively.

Keywords - Biofuels, consumption, raw material, blends, renewable, tractor

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1. Regras de comercialização de biocombustíveis no mundo.....	12
2. Matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel (B100) no Brasil (m ³).....	19
3. Teor de óleo das espécies potencialmente produtoras de óleo para biodiesel (%).	20
4. Relação e designação dos tratamentos.....	23
5. Síntese da análise de variância, análise de regressão e do teste de médias para as variáveis força de tração (FT), velocidade (V), potência na barra (PB), temperatura de ida (TI) e temperatura de retorno (TR).....	31
6. Análise de regressão da interação entre os fatores proporção e tipo de biodiesel para as variáveis temperatura de ida (TI) e temperatura de retorno (TR).....	32
7. Desdobramento do teste de médias de Tukey para a temperatura de ida: tipo de biodiesel dentro de cada proporção de mistura.....	35
8. Desdobramento do teste de médias de Tukey para a temperatura de retorno: tipo de biodiesel dentro de cada proporção de mistura.....	35
9. Variações da temperatura (ΔT_m (%)) e densidade das misturas (ΔD (%)) em função do tipo de biodiesel e das temperaturas de ida (TI) e retorno (TR).....	36
10. Síntese da análise de variância, análise de regressão e do teste de médias para as variáveis consumo volumétrico (CV), consumo ponderal (CP) e consumo específico (CE).....	38
11. Análise do consumo ponderal pelo teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade para o tipo de biodiesel em função da proporção de mistura	41

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Demanda energética primária mundial em 2019.....	4
2. Comparação internacional da participação das fontes renováveis na oferta interna de energia	5
3. Evolução da participação das fontes renováveis na oferta interna de energia.....	6
4. Etapas de funcionamento de um motor ciclo diesel 4 tempos.....	9
5. Reação de transesterificação.....	15
6. Fluxograma ilustrativo sobre o processo de transesterificação para produção de biodiesel a partir de óleo de origem vegetal ou animal.....	16
7. Evolução do percentual obrigatório de biodiesel misturado ao diesel.....	18
8. Disposição das parcelas na área.....	23
9. Vista lateral do trator de teste instrumentado.....	24
10. Avaliação do ensaio de desempenho do trator de teste tracionando trator de frenagem.....	25
11. Temperatura de ida em função do tipo de biodiesel e proporção.....	33
12. Temperatura de retorno em função do tipo de biodiesel e proporção de mistura com o diesel S50.....	34
13. Consumo horário volumétrico em função da proporção de biodiesel.....	39
14. Consumo ponderal de combustível em função do tipo e proporção de Biodiesel.....	40
15. Consumo específico de combustível em função do fator proporção.....	42

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o crescimento populacional, associado ao aumento do consumo de energia e a possibilidade de esgotamento de combustíveis fósseis, juntamente com questões relacionadas à poluição ambiental, tem incitado os países a buscar fontes inovadoras e limpas de energia (Vieira, 2020). Já é praticamente inegável que as causas das mudanças climáticas são as concentrações dos gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera devido ao desmatamento e, principalmente, à queima de combustíveis fósseis, responsáveis por 90% das emissões destes gases, sendo a redução das emissões dos GEE reconhecida por muitos como uma necessidade imperiosa que passa pela queda dos lançamentos de CO₂ na atmosfera pela queima dos combustíveis fósseis (TRANSPARENCY, 2018; Marques, 2018). CO, CO₂, SO_xe e NO_x, emitidos pela queima de combustíveis fósseis na atmosfera, exacerbam o efeito estufa, levando ao aquecimento global, o que compromete o equilíbrio dos ecossistemas. O nível atual de CO₂ é de 394,5 Partes Por Milhão de Volume (PPMV) e está projetado para chegar a 500 PPMV até 2050 se as emissões não forem restritas (Mathimani e Mallick, 2018).

Por isso, os biocombustíveis, quando derivados de matérias-primas renováveis e produzidos por processos de reconhecida sustentabilidade ambiental, surgem como alternativas de amplo interesse social e político na substituição do uso de combustíveis não renováveis, particularmente quando o seu uso não exige adequações significativas na tecnologia atualmente empregada nos motores de combustão (Cremones e Lossau, 2015). O biodiesel é um biocombustível obtido a partir de biomassa vegetal ou gorduras de origem animal e pode substituir parcial ou totalmente o uso de combustível fóssil nas próximas décadas, contribuindo diretamente para a redução da emissão dos GEE e mitigação do efeito estufa.

O Brasil, com grande extensão territorial, apresenta características edafoclimáticas favoráveis ao cultivo de grande diversidade de matérias-primas destinadas à produção de biodiesel, como a soja, girassol, amendoim, mamona, milho, pinhão manso, caroço de algodão, canola, babaçu, buriti, dendê e macaúba. O sebo bovino, as gorduras de frango e suínos, óleos de descarte, óleos de vísceras de peixes e óleos usados para cocção de alimentos (óleo de fritura) também são

utilizados como matérias-primas alternativas (Ramos, 2017).

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho de um trator agrícola em função dos tipos de biodiesel (amendoim, soja, girassol e óleo residual de frituras) e das proporções de biodiesel adicionadas ao diesel S50 (B0, B25, B50, B75, B100) no município de Jaboticabal – SP.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Modelo energético global baseado no uso de combustíveis fósseis

Combustíveis fósseis é a denominação dada a um grande grupo de combustíveis não renováveis e que foram formados a milhares de anos a partir de restos de animais e vegetais. Estão incluídos nestas fontes o carvão mineral, o gás natural e o petróleo e derivados, como o óleo diesel e a gasolina (Bizerra, 2018).

A necessidade de utilização de energia, em suas mais variadas formas, é uma realidade das sociedades desde que essas começaram a se formar. Tal necessidade se intensificou com o advento da Revolução Industrial, devido ao uso intensivo de combustíveis fósseis, tais como o carvão mineral e o petróleo (Oliveira, 2020; Baird e Cann, 2011).

Antes da revolução industrial, há mais de 200 anos, as necessidades energéticas da economia e da sociedade eram praticamente supridas por meio de energias renováveis. O carvão mineral já era usado, mas em pequenas proporções, assim como os demais combustíveis fósseis, tais como o gás natural e o petróleo. Nessa época, a energia consistia basicamente em gerar calor, prioritariamente por meio de madeira, e em aproveitar a força motriz dos moinhos de água e de vento em martelos ou navios. A força muscular humana e de animais também era a principal forma de transporte de cargas, operação de utensílios e execução de outros trabalhos. O entendimento de que calor é transformado em movimento foi disseminado quando as máquinas a vapor levaram à industrialização e à noção de energia e seu uso, caracterizando uma das primeiras transições energética sofridas no mundo (Brüggemeier, 2015).

Nos séculos subsequentes nos quais a Revolução Industrial tem seu ápice, iniciou-se o uso desenfreado do petróleo e seus derivados, utilizados em processos industriais bem como combustível para veículos, aumentando a importância da energia fóssil, principalmente após a Segunda Guerra mundial, quando a partir de então a energia fóssil ganha espaço como recurso mais utilizado para gerar energia no mundo atualmente (Oliveira, 2020).

A Figura 1 exhibe dados da demanda energética primária mundial, composta principalmente por fontes não renováveis de energia, que totalizam 86%, com

destaque para o petróleo e seus derivados, responsável por 32% (IEA, 2020).

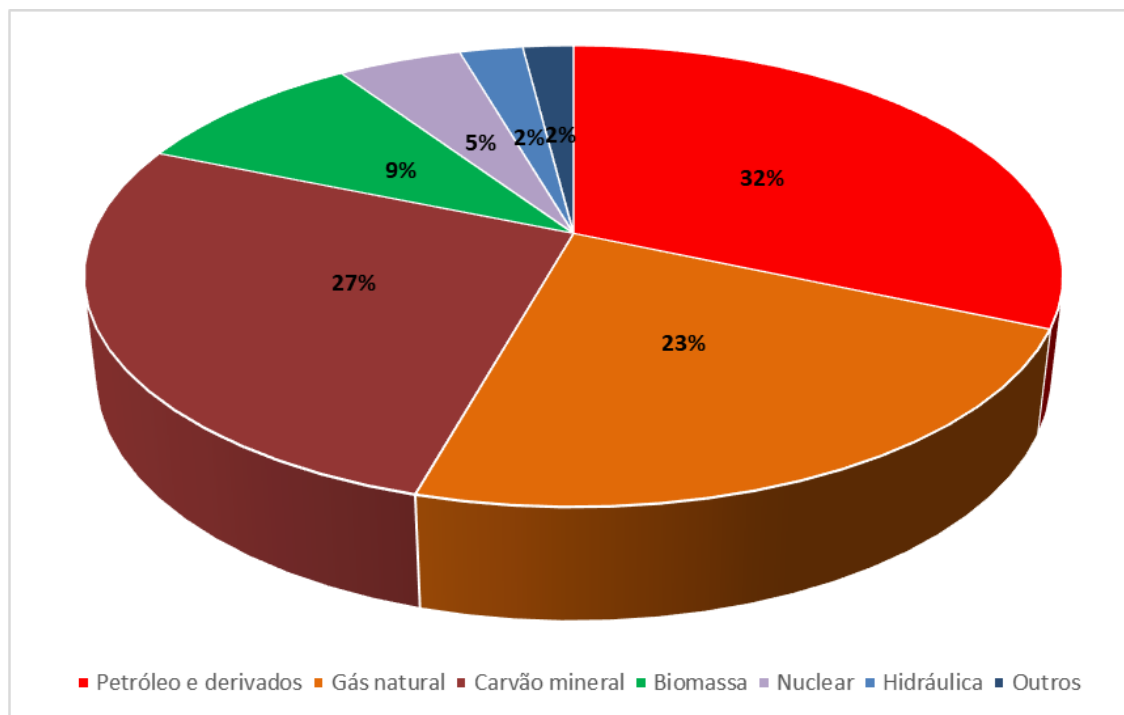


Figura 1. Demanda energética primária mundial em 2019
 Fonte: Matriz energética mundial (IEA, 2020)

O aquecimento global decorrente da liberação de gases de efeito estufa na atmosfera é um dos maiores problemas em escala global dos últimos tempos que atraem muita atenção. No entanto, o rápido crescimento econômico mundial tem contribuído para a crescente demanda de energia que resulta no aumento do uso de combustíveis fósseis, e assim, um aumento na geração do principal gás de efeito estufa, o CO₂. Dessa forma, um dos mais importantes desafios enfrentados pelo setor de energia global é a redução das emissões de CO₂ na produção de energia, pois muitas economias continuarão a depender de combustíveis fósseis como fontes de energia primária (Ortiz, 2017).

Em 2015, foi assinado o então denominado “Acordo de Paris”, que, em seu ponto principal, trata do esforço para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) a partir de 2020. Um dos focos principais é a redução dos gases oriundos das emissões da queima de combustíveis fósseis. Entre 2014 e 2016, as emissões mundiais se mantiveram em níveis constantes, induzindo a ideia de que iniciariam um processo de redução, porém, entre 2017 e 2018, as emissões voltaram a crescer

(Hausfather, 2018).

Segundo Vital (2018), durante a 24ª Conferência das Partes da Convenção do Clima das Nações Unidas (COP-24), realizada na Polônia em dezembro de 2018, foi divulgado que as emissões de dióxido de carbono (CO₂) alcançaram níveis recordes naquele ano, tendo, como fonte principal de emissão, a queima dos combustíveis fósseis. O Brasil representa apenas 3,8% das emissões mundiais (Furtado, 2020).

2.1.1 Fontes renováveis na oferta interna de energia

Nas últimas décadas, pesquisas envolvendo fontes renováveis de energia destacaram-se mundialmente, das quais se podem citar as energias solar, eólica, hidroelétrica, geotérmica, das marés e aquelas derivadas da biomassa, incluindo o biogás e os biocombustíveis líquidos, dentre outros (Ramos, 2017). A matriz energética mundial é composta por fontes não renováveis como o carvão (28,1%), petróleo e derivados (31,4%), gás natural (21,6%), as fontes renováveis representam apenas 1,4% da matriz mundial.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2021), vinculada ao Ministério de Minas e Energia, historicamente, o Brasil se destaca por ser um país com alto percentual de fontes renováveis de energia em sua oferta interna quando comparado ao resto do mundo, sendo considerado o país com a matriz energética mais renovável do mundo (Figura 2).

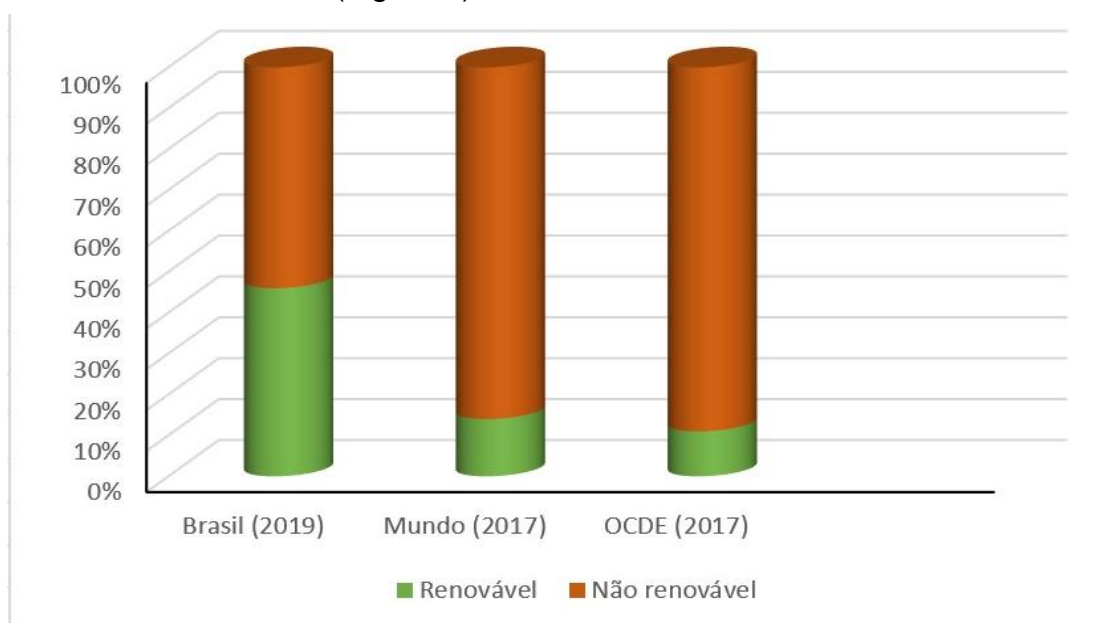


Figura 2. Comparação internacional da participação das fontes renováveis na oferta interna de energia. Fonte: EPE (2020b)

Nos últimos 20 anos, a participação das renováveis na matriz energética brasileira manteve-se estável com valores superiores a 40%, o que já é considerado um grande desafio para o País. No ano de 2019, 46,2% da demanda energética consumida no Brasil foi suprida por fontes renováveis. Isso se deu particularmente devido ao incremento das fontes solar e eólica na geração de energia elétrica e o avanço da oferta de biomassa da cana e biodiesel. Além disso, a redução da oferta de carvão mineral, explicado pela diminuição da produção de aço bruto no Brasil, também contribuiu para o alto percentual de renovabilidade da matriz energética nacional (EPE, 2020a).

Entre 2011 e 2014, houve uma redução da participação das energias renováveis na matriz energética brasileira devido à queda da oferta hidráulica associada à menor quantidade de chuvas inerente ao período (Bernardy, 2018). A partir de 2015, as fontes renováveis retomam uma trajetória de crescimento com a expansão da oferta de derivados de cana, energia eólica e biodiesel, atingindo 46,1% no ano de 2019 (Figura 3).

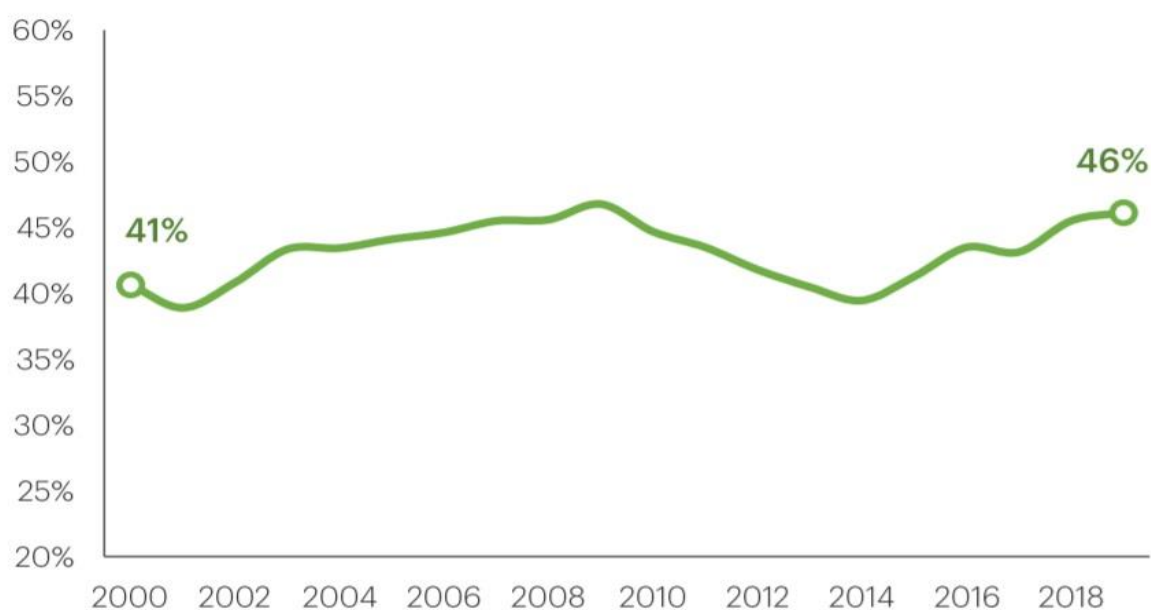


Figura 3. Evolução da participação das fontes renováveis na oferta interna de energia
Fonte: EPE (2020b)

A nova transição energética baseia-se na política de baixo carbono e menor pegada ambiental, aumentando o uso eficiente das fontes energéticas e substituindo cada vez mais os recursos energéticos de alta intensidade de carbono por alternativas

que tenham menor impacto ambiental e emissões de gases de efeito estufa (EPE, 2019b).

As condições climáticas, as grandes áreas agrícolas e o investimento público e privado favorecem o cultivo de espécies destinadas à produção de biomassa. Com a otimização da produção e o avanço das tecnologias destinadas à agricultura, espera-se que haja uma expansão significativa na produção de biomassa nas próximas décadas.

2.1.2 Demanda futura por fontes renováveis de energia

As reservas globais de petróleo, que levaram cerca de meio bilhão de anos para serem formadas, serão consumidas em aproximadamente 200 anos. Há divergências entre os analistas acerca de quando a produção de petróleo alcançará o seu pico, de tal forma que alguns pesquisadores acreditam que a produção de petróleo global atingirá o pico até pelo menos 2030. Uma pesquisa realizada em 2006 com geólogos de petróleo revelou que a maior parte da comunidade científica estima que o pico ocorrerá entre 2020 e 2040 (Baird e Cann, 2011). Apesar das incertezas acerca do tempo necessário para a produção do petróleo chegar ao seu limite, é certo que esta fonte energética não renovável se tornará cada vez mais escassa com o passar dos anos e novas soluções sustentáveis para o suprimento mundial de energia sejam desenvolvidas e aprimoradas. Nesse sentido, esforços diversos envolvendo pesquisadores e empresas visam alternativas viáveis aos combustíveis fósseis.

O mundo tem traçado uma nova rota energética desde os chamados choques petrolíferos, nas décadas de 70 e 80 (Kumar e Saravanan, 2016). A partir daí, a atenção para com o meio ambiente tem motivado a produção e a comercialização de fontes energéticas alternativas, tais como os biocombustíveis, que hoje assumem um importante papel no cenário macroeconômico mundial (Rigotte et al., 2017).

As fontes de energia renováveis são aquelas que a sua utilização e uso são inesgotáveis podendo ser aproveitadas ao longo do tempo, sem o esgotamento dessa fonte, como o biodiesel, etanol, biomassa, dentre outros (EPE, 2018).

As políticas e as economias internacionais devem assumir compromissos atuais e futuros para fortalecer e diversificar a matriz energética mundial de forma sustentável a fim de atender as demandas vindouras (Pedroso et al., 2018).

Estima-se que a população mundial se aproximará de 9 bilhões em 2040 e para atender a essa demanda, em comparação ao consumo de 2010, será necessário um aumento próximo a 35% na oferta total de energia. Grande parte deste crescimento será impulsionado por países que estão em um ritmo de desenvolvimento muito grande, particularmente localizado na Ásia. De acordo com estudos desenvolvidos por Conti et al. (2016), países da Ásia tais como China e Índia vão ser responsáveis por metade do crescimento de energia mundial. Isto exigirá maior diversificação de recursos energéticos e inovações tecnológicas mais eficientes e confiáveis para o meio ambiente e assim tornar a matriz energética mundial mais sustentável (Heubbaum, 2015).

Para que as energias renováveis possam suprir a demanda mundial, elas precisam junto com a eficiência energética, serem amplificadas em todos os setores. A perspectiva é que a fatia total de energia renovável cresça até 2050; e um investimento de US\$120 trilhões permitiria essa transição energética (IRENA, 2018b, p. 9).

2.1.3 Motor ciclo diesel

O nome motor diesel é uma homenagem ao seu inventor Rudolf Christian Karl Diesel, cuja obtenção de patente ocorreu em 1897. Esses motores funcionam por meio do princípio de ignição por compressão e podem operar com diversos combustíveis além do combustível diesel, como por exemplo, óleo combustível, querosene ou biodiesel (Nunes, 2017).

Os motores diesel podem operar em ciclo de 2 ou 4 tempos. Os motores em ciclo de 2 tempos são utilizados principalmente em grandes aplicações, como em motores navais e de instalações geradoras e se caracterizam como motores de baixa rotação, já os motores em ciclo de 4 tempos são os tipos mais comumente usados em veículos (Podorodeczki, 2016).

A grande diferença entre esses dois tipos de motores de combustão interna (MCI) é a forma como é iniciada sua ignição. No ciclo Otto, uma centelha elétrica criada por uma vela inicia a combustão da mistura ar-combustível que está sendo comprimida. Já no ciclo Diesel, o processo de combustão se inicia quando a mistura ar-combustível se auto inflama devido à alta temperatura dentro da câmara de

combustão causada pela alta compressão da mistura Pulkrabek (2004). Apesar desses dois MCI possuírem diferenças técnicas em seus ciclos de operação e componentes de seus sistemas, a estrutura física é muito parecida geometricamente.

O funcionamento se dá da seguinte forma: ocorre inicialmente a admissão, nesta etapa, a válvula de admissão se abre e o pistão se desloca do ponto morto superior para o ponto morto inferior, assim ocorre a entrada do ar na câmara de combustão devido à queda de pressão gerada pelo movimento descendente do pistão. Após essa etapa, as válvulas, tanto de entrada de ar como de escape são fechadas e começa o tempo de compressão. Na etapa de compressão, ocorre o movimento de subida do 27 êmbolo em direção ao ponto morto superior comprimindo o ar admitido no tempo anterior. Ao chegar ao ponto morto superior ocorre a injeção de combustível na câmara, onde então a mistura ar combustível é formada e é inflamada pela alta temperatura, entre 700 e 900°C. Esse processo promove a geração de pressão interna no sistema, fazendo com que o êmbolo seja empurrado até o ponto morto inferior devido à expansão dos gases queimados. Finalmente, na fase de escape, ocorre a abertura da válvula de escape e expulsão dos gases queimados para novamente iniciar o ciclo produzindo outra vez o que chamamos de trabalho (BOSCH, 2005) (Figura 4).

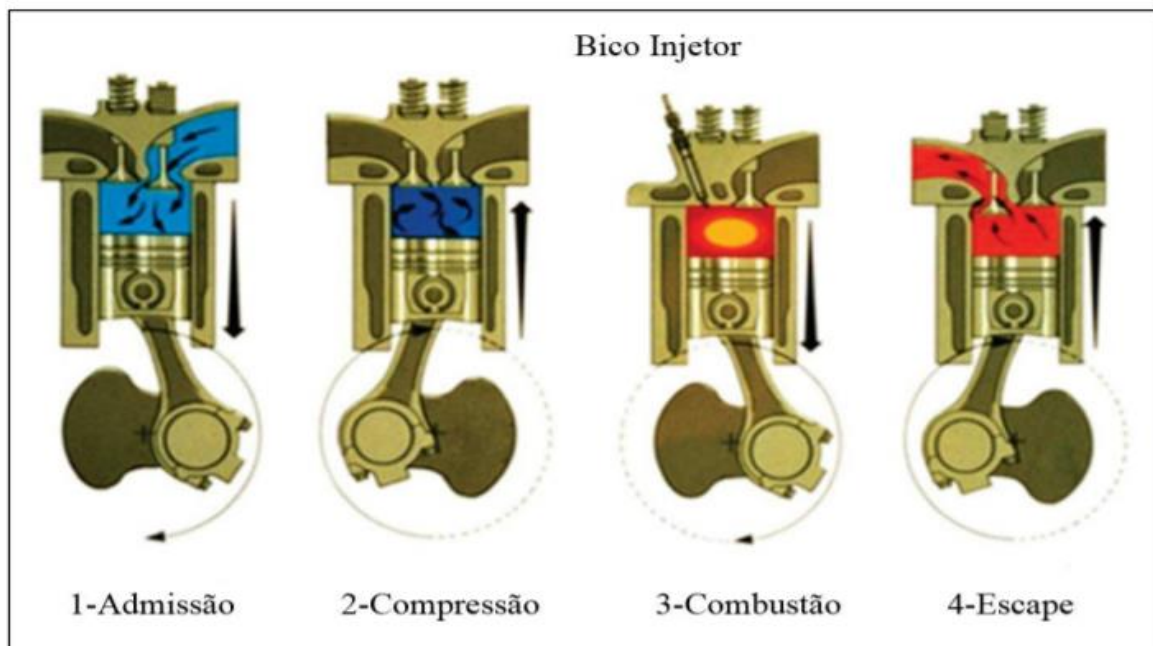


Figura 4. Etapas de funcionamento de um motor ciclo diesel 4 tempos
Fonte: Bosch (2005)

2.2. Biocombustíveis

Os biocombustíveis são derivados de biomassa renovável que podem substituir total ou parcialmente o uso de combustíveis fósseis em motores a combustão interna ou em outra geração de energia. No Brasil, os biocombustíveis mais utilizados são o etanol, obtido da cana-de-açúcar, e o biodiesel, proveniente de óleos vegetais ou de gordura animal.

A queima desses biocombustíveis emite menos poluidores na atmosfera quando comparados aos combustíveis fósseis tradicionais. Ademais, as emissões de gás carbônico geradas pelo etanol são reabsorvidas pelas plantações de cana-de-açúcar gerando uma parcial compensação. O biodiesel também oferece vantagens ambientais, tais como, emitir, em média 48% menos monóxido de carbono, 47% menos material particulado, estes penetrantes nos pulmões, e 67% menos hidrocarbonetos (Pinheiro, 2020). Farina e Rodrigues (2018) concluíram que o uso dos biocombustíveis é uma realidade na substituição dos combustíveis fossilizados, é economicamente viável e, também, capaz de suprir a demanda crescente do mercado brasileiro de forma sustentável.

2.2.1 Política mundial para produção e uso de biocombustíveis

O mundo continua fortemente dependente dos combustíveis fósseis, apesar da crescente preocupação com os efeitos do uso desses combustíveis sobre o clima. Por serem biodegradáveis, e possuírem baixo teor de enxofre e compostos aromáticos, os biocombustíveis causam menos impactos ao meio ambiente do que os combustíveis fósseis (ANP, 2019c). Assim, os biocombustíveis são promissoras alternativas para substituir, parcial ou totalmente, combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores à combustão que são responsáveis por grande parcela das emissões de gases causadores do efeito estufa.

Na segunda metade da década de 2000, políticas governamentais em diversos países começaram a estimular a produção de biocombustíveis através do estabelecimento de arcabouços legais, políticos e regulatórios que estabeleceram regras de comercialização específicas para os biocombustíveis.

Essas políticas geraram um forte incremento da produção mundial de etanol e biodiesel, principalmente. Como consequência, uma quantidade considerável da produção mundial de cana-de-açúcar e milho foi destinada para produção de etanol e um crescente percentual de óleos vegetais foi utilizado para produção de biodiesel. O biodiesel oriundo de matérias-primas de origem vegetal é misturado ao diesel S50

em quantidade especificada por cada país (Vidal, 2019).

De acordo com Costa et al. (2017) e Vidal (2019), a principal regra de comercialização de biocombustíveis no mundo é o mandato. Os mecanismos de flexibilidade, como mercados de certificados, spot, futuros e opções com biocombustíveis, ainda são pouco utilizados (Tabela 1).

Tabela 1. Regras de comercialização de biocombustíveis no mundo

	Brasil	EUA	União Europeia	Outros
Mandatos	<ul style="list-style-type: none"> • Teor de anidro (18 – 27,5%); • Mistura do biodiesel ao diesel S50 (12% em 2020). 	<ul style="list-style-type: none"> • RFS – Renewable Fuel Standard (volumes atuais); • Mistura E10 obrigatória (E15 e E85 facultativas); • Biodiesel em diversos percentuais (B20, mais comum). 	<ul style="list-style-type: none"> • Mistura de biocombustíveis e participação de renováveis no consumo final em diversos países membros. 	<ul style="list-style-type: none"> • E5: Argentina, Canadá, Etiópia e Sudão; • E8: (podendo subir para E10): Colômbia; • E10: Angola, Equador, Jamaica, China (facultativo em 4 províncias), Índia (não cumprido) Quênia, Malawi, Filipinas; • B2 a B5: Peru, Chile, Equador, Uruguai, Malásia, Filipinas, Coreia do Sul, África do Sul e Austrália. • B10: Argentina e Indonésia.
Instrumentos de comercialização	<ul style="list-style-type: none"> • Contratação bilateral de etanol carburante; • Leilões de biodiesel; • Leilão de energia (ACR); • Contratação bilateral de energia (ACL). 	<ul style="list-style-type: none"> • RIN – Renewable Identification Number (Contratação bilateral); • Padrão de Combustível de Baixo Carbono – LCFS. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de Mercado de Emissões (EU ETS); • Comércio bilaterais; • Programa “Tudo Menos Armas” entre EU e África (aplicável aos biocombustíveis). 	<ul style="list-style-type: none"> • Iniciativa Caribenha CBI.
Mercado spot, futuro e opções	<ul style="list-style-type: none"> • Futuros, opções e operações estruturadas na BM&F BOVESPA: etanol hidratado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bolsa Mercantil de Chicago (CBOT): etanol; • Bolsa Mercantil de Nova Iorque (NYMEX): etanol. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bolsa Intercontinental – ICE: etanol (futuro). 	<ul style="list-style-type: none"> • Bolsa de Cingapura: etanol.
Mercados de certificados	Não aplicável	<ul style="list-style-type: none"> • Mercado RINS; • Mercado de Carbono. 	Não aplicável	Não aplicável

Nota: ACR: Ambiente de contratação regulada; ACL: Ambiente de Contratação Livre.
 Fonte: Elaborado por Costa et al., (2017).

2.2.2 Histórico nacional de adesão aos biocombustíveis

No período compreendido entre as décadas de 1940 e 1960 a produção energética brasileira era predominantemente estatal. Por esta razão, foram criadas grandes empresas como a Petrobrás e Eletrobrás com a finalidade de garantir o abastecimento interno. O monopólio energético brasileiro, juntamente com as regulamentações de custos de serviços operou de forma eficiente por longos anos, isto concorreu para a expansão da capacidade energética do país (Andrade et al., 2015).

A partir dos anos de 1960, durante o governo militar houve aumentos consideráveis no consumo energético impulsionado pelas grandes construções nos setores de transportes e civil, cujo objetivo era o progresso nacional. Neste mesmo período a expansão energética foi observada através das edificações de usinas hidroelétricas, como as de Ilha Solteira, de Tucuruí e a Usina de Itaipu, além das usinas nucleares Angra 1 e Angra 2 (Galbiatti-Silveira, 2018).

Em 1970, com a primeira crise mundial devido aos choques nos preços do petróleo, investimentos em pesquisas e desenvolvimento foram direcionados para o então subproduto da indústria açucareira, o álcool, com intuito de agregá-lo juntamente à gasolina em forma de combustível. O Plano Nacional do Álcool (Proálcool) foi criado com o propósito de tentar fazer a substituição dos derivados de petróleo por álcool. Mais tarde, o Proálcool receberia maiores investimentos devido ao segundo choque do petróleo (Moraes e Bacchi, 2015). O Brasil é destaque na produção de álcool de cana-de-açúcar, sendo pioneiro no mundo na utilização do etanol em larga escala como combustível. Há algumas décadas, a mistura de etanol à gasolina no Brasil é superior a 20% (Vidal, 2019).

Em 2 de julho de 2003, um decreto da Presidência da República instituiu um grupo de trabalho encarregado de fazer estudos a respeito da viabilidade de tornar o biodiesel como mais uma fonte de energia alternativa, assim foi elaborado um relatório que serviu para estabelecer o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB). Juntamente com estes estudos, um marco regulatório para o setor de biocombustíveis se iniciou, considerando a diversidade de oleaginosas disponibilizadas no Brasil como garantia de suprimento e qualidade (Castro, 2011).

2.3 Biodiesel

O biodiesel é um combustível alternativo não tóxico e pouco poluente que pode substituir total ou parcialmente o diesel, ele é produzido a partir de óleos vegetais, gordura animal e rejeitos gordurosos, quimicamente é o nome dado à mistura monoalquil de ésteres proveniente de cadeias longas de ácidos graxos (Lopes e França, 2021; Silva et al., 2012). Conforme Lima et al. (2013), o biodiesel pode ser filtrado ou destilado, metílico ou etílico, produzido com óleo residual ou de gomado.

A primeira utilização de óleos vegetais como biodiesel foi realizada em 1900, por Rudolf Christian Karl Diesel, quando ele utilizou óleo de amendoim na alimentação de um protótipo de motor de injeção indireta, na Exposição Universal de Paris (Ghazali et al., 2015). O biodiesel é visto como alternativa potencial na substituição o diesel mineral, devido ao fato de apresentar características físico-químicas similares ao diesel, permitindo a redução da emissão de poluentes, podendo ser utilizado em motores de ciclo diesel sem alteração mecânica (Guimarães et al., 2018).

Para um combustível ser considerado alternativo e substituto ao petrodiesel, ele deve ser tecnicamente e economicamente viável, deve atender as questões ambientais envolvidas e ter um acesso facilitado. Além de atender esses quesitos, o biodiesel também ajuda na redução líquida de emissões de gases do efeito estufa, já que o CO₂ produzido na sua queima é em parte reabsorvido pelos vegetais que produzem os óleos, além disso ele também contribui para o desenvolvimento econômico e social de países em desenvolvimento (Demirbas, 2009).

O Brasil é pioneiro mundial no uso de biocombustíveis, tendo posição almejada por muitos países que buscam desenvolver fontes renováveis de energia como alternativas estratégicas ao petróleo. Sendo o terceiro país com maior produção de Biodiesel no mundo, somente atrás dos Estados Unidos e Alemanha (ANP, 2018c).

Muito esforço tem sido feito para melhorar vários aspectos da produção de biodiesel, como fica evidente a partir do grande número de estudos sobre o tema. Os governos de vários países introduziram políticas e regulamentações destinadas a alcançar uma indústria de biodiesel sustentável e garantir a segurança energética de longo prazo.

O biodiesel é um biocombustível obtido por meio da reação de transesterificação ou alcoólise, que ocorre através da reação de um óleo vegetal (éster) com um álcool (metanol (CH₃OH) ou etanol (C₂H₅OH), por exemplo, na

presença de um catalisador (ácido, básico ou enzimático), produzindo biodiesel como produto principal e o glicerol como subproduto. Independente das reações aplicadas e da matéria prima, o biodiesel deve apresentar propriedades físico-químicas similares ao diesel de origem petrolífera, para então ser capaz de substituí-lo (Moreti, 2018; Godoy, 2021).

A transesterificação foi conhecida em 1853 por meio do cientista George Chavanne, da Universidade de Bruxelas, que empregou esse processo químico em óleos vegetais, visando à utilização em motores do ciclo diesel. De acordo com Pinho e Teixeira (2015) este feito possibilitou que óleos vegetais pudessem ser utilizados em motores de ignição por compressão, sem que houvesse danos no desempenho.

Na reação de transesterificação, os triacilglicerídeos, proveniente dos óleos vegetais, reagem com um agente transesterificante de baixa massa molar (álcool monohídrico) na presença de um catalisador (Figura 5). A estequiometria da reação é de uma proporção de 3:1 de álcool para o triacilglicerídeo, rendendo assim três mols de éster e um mol de glicerol (Demirbas, 2009; Lopes e França, 2021).

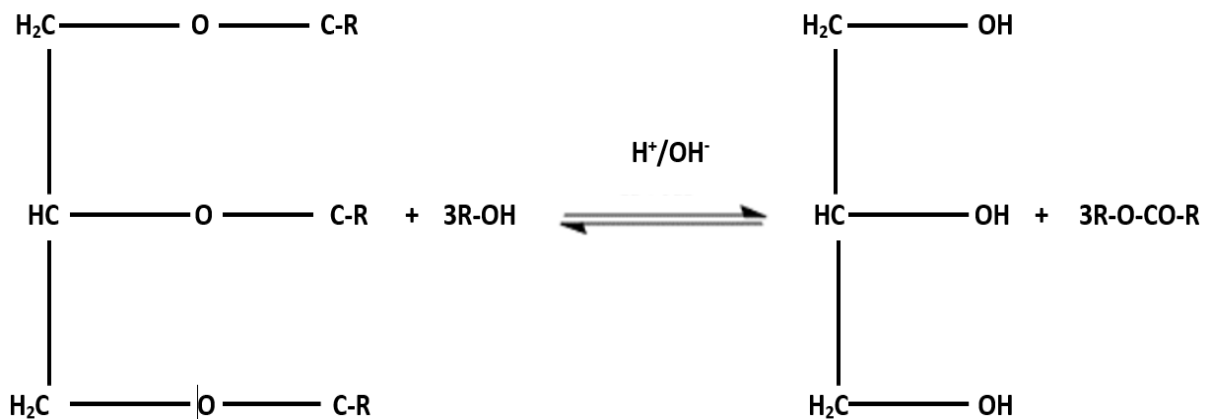


Figura 5- Reação de transesterificação
 Fonte: Lopes e França (2021).

Segundo Moreti (2018), o processo de obtenção do biodiesel pode ser sequenciado por meio de etapas específicas (Figura 6).

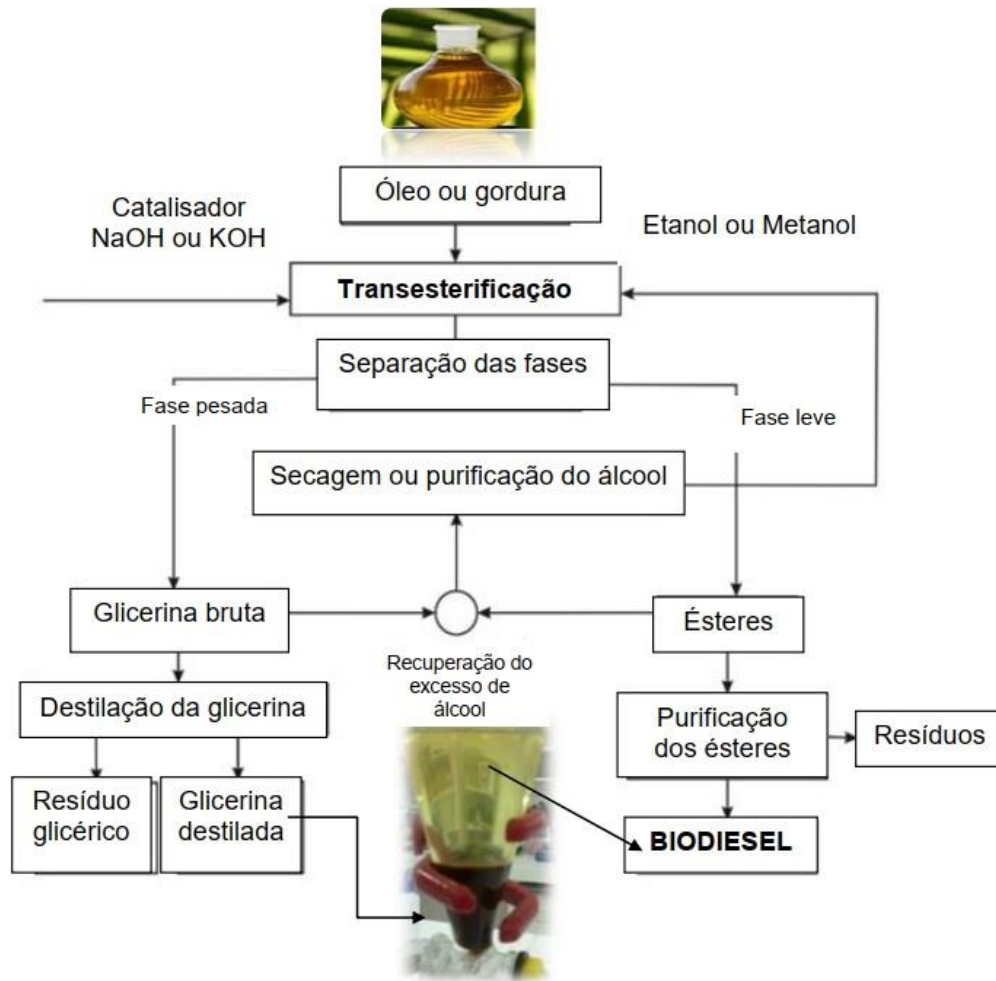


Figura 6. Fluxograma ilustrativo sobre o processo de transesterificação para produção de biodiesel a partir de óleo de origem vegetal ou animal. Fonte: Moreti (2018).

Segundo a EMBRAPA (2015) a utilização do biodiesel pode diminuir até 70% das emissões de CO₂ se utilizado o biodiesel B20 em 40 cidades brasileiras com mais de 500 mil habitantes.

Como desvantagem principal, o alto custo de produção da matéria-prima se apresenta como o maior inconveniente para a fabricação do biodiesel. Apesar disso, o Brasil é considerado um excelente produtor de biomassa devido à vasta extensão territorial, às condições climatológicas favoráveis e à rotação de culturas que permite aumentar a produção e os lucros do agricultor (Lepsch, 2020).

2.3.1 Evolução do percentual mínimo de biodiesel adicionado ao diesel S50 no mundo e no Brasil

As misturas de biodiesel e diesel podem ser feitas em diferentes percentagens, de acordo com a legislação de cada país, mas no geral ela começou a ser feita em pequenas percentagens (2%) e devido ao seu sucesso evoluiu para médias percentagens (30%) em alguns países. Por exemplo, na França a mistura evoluiu de B5 (5% de biodiesel e 95% de diesel) para B30 (30% de biodiesel e 70% de diesel); nos EUA, de B2 para B20; em Moçambique, de B3 para B7,5; no Brasil, de B2 para B12, com perspectiva de evoluir para B15 em 2023 (Mazivila et al., 2015; Bambo, 2014). No ano de 2019, a Indonésia elevou a mistura obrigatória de biodiesel no óleo diesel de 20% para 30%, sendo que para tal o país realizou diversos testes em motores para validar o uso do B30. De acordo com os estudos necessários à validação do percentual, os veículos que utilizaram o B30 apresentaram performance “relativamente similar” em relação aos que foram abastecidos com B20, que estava em utilização no país desde o começo de 2016 (Bortoleto, 2021).

Em 2005, o biodiesel foi introduzido na matriz energética brasileira, através da Lei 11.097, de 13 de janeiro de 2005 que fixou para todo o território nacional o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao diesel de 2% (B2) em volume ao diesel vendido ao consumidor final, a partir de janeiro de 2008 e de 5% (B5) a partir de janeiro de 2013 e estabeleceu o modo de utilização e o regime tributário distinguido por região de plantio, por oleaginosa e por categoria de produção, agronegócio e agricultura familiar (BRASIL, 2005).

A partir de 2008, a mistura passou a ser obrigatória e o percentual foi sendo ajustado ao longo dos anos (Figura 7). Em 2018, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) aprovou o percentual de 10% de biodiesel misturado ao óleo diesel vendido ao consumidor final (B10). O percentual atual exigido corresponde a 12%, sendo a previsão para 2023 estimada em 15% de biodiesel adicionada ao diesel (ANP, 2020a).

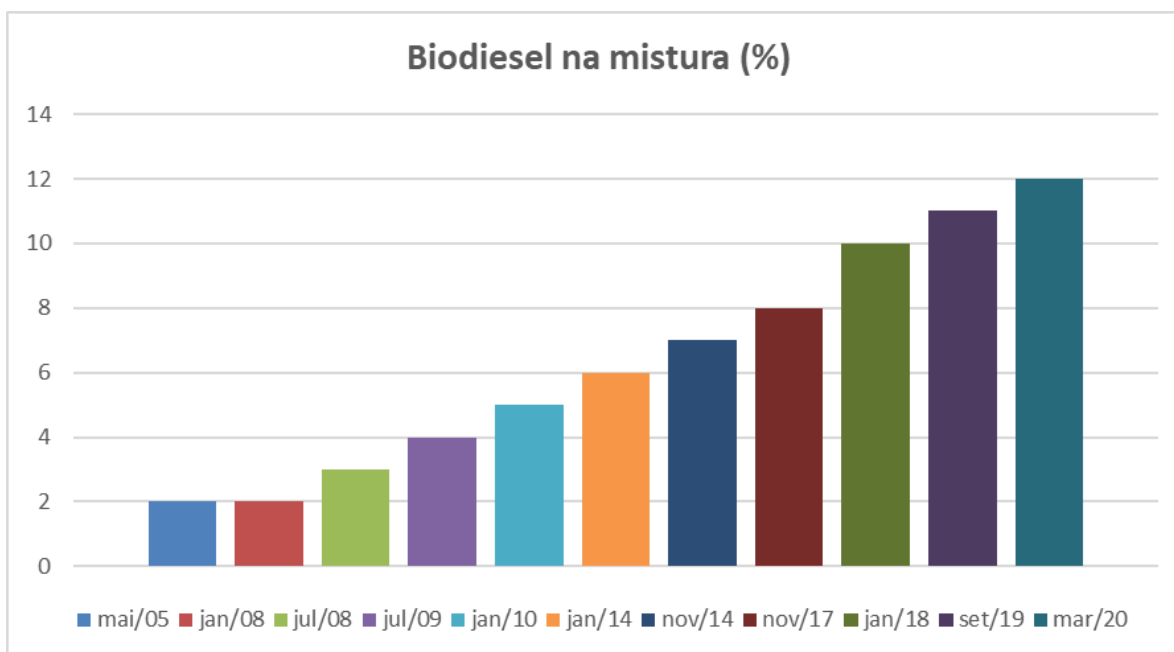


Figura 7. Evolução do percentual obrigatório de biodiesel misturado ao diesel
Fonte: ANP (2020a).

A variedade da matéria prima existente no Brasil contribui pra o aumento da produção do biodiesel e consequentemente da evolução da sua percentagem adicionada ao diesel S50 comercial (Máquina et al., 2020).

2.3.2 Principais matérias-primas para produção do biodiesel no Brasil

O biodiesel pode ser produzido a partir de uma série de matérias-primas, das quais se destacam os óleos vegetais, óleos e gorduras residuais, óleos e gorduras de origem animal, dentre outras. A ampla variedade de matérias-primas disponíveis representa um dos fatores mais importantes para a produção de biodiesel, podendo atingir até 80% dos custos totais de produção os óleos vegetais refinados com qualidade alimentar, são atualmente, as matérias-primas predominantes na indústria deste produto (Sánchez et al., 2019). Globalmente, existem mais de 350 culturas identificadas como matéria-prima potencial para a produção de biodiesel (Mendonça et al., 2019).

O Brasil é um país com muitas diferenças regionais de clima e solo, sendo propício ao cultivo de várias oleaginosas, dentre essas, a soja ocupa lugar de destaque na produção brasileira de biodiesel, devido ao fato, do país ser segundo maior produtor mundial (Paumgarten, 2020). A produção de biodiesel no Brasil está concentrada no Sul e Centro-Oeste, o que está relacionada à ampla participação da

soja como matéria-prima (71,6%) utilizada com essa finalidade (Tabela 2). Isso deve-se ao fato de que nas regiões de maior destaque em produção de biodiesel no Brasil, a soja é uma oleaginosa já cultivada há tempos, no qual a tecnologia e conhecimento para obtenção da mesma já estava desenvolvido, o que favoreceu ainda mais sua utilização. Além disso, ela pode ser armazenada por longos períodos de tempo, tem crescimento relativamente rápido e o uso do biocombustível produzido a partir de seu óleo não é restrito a climas quentes ou frios (Martins, 2020).

Tabela 2 – Matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel (B100) no Brasil (m³)

Matérias-primas	2013	2014	2015	2016	2017	(%)
Óleo de soja	2.231.464	2.625.558	3.061.027	3.020.819	3.072.446	71,6
Óleo de algodão	64.359	76.792	78.840	39.628	12.426	0,3
Gordura animal (1)	578.427	675.861	738.920	622.311	720.935	16,8
Outros materiais graxos (2)	46.756	37.255	60.086	134.297	483.544	11,3
TOTAL	2.921.006	3.415.466	3.938.873	3.817.055	4.289.351	100

Fonte: ANP (2018).

Nota:

1) inclui gordura bovina, gordura de frango e gordura de porco;

2) inclui óleo de amendoim, óleo de girassol, óleo de mamona, óleo de sésamo, óleo de fritura usado, óleo de palma, óleo de nabo-forrageiro e outros materiais graxos.

Existem diversas culturas energéticas que em comparação a soja apresentam rendimento em óleo superior por hectare cultivado, porém, não são direcionadas para a produção de biocombustíveis por apresentarem óleo com propriedades nutricionais superior ao óleo de soja, o que agrega valor comercial ao produto, tornando-o atrativo para o setor alimentício e pouco competitivo no mercado de biocombustíveis (Delalibera, 2014).

A viabilidade econômica da produção de biodiesel depende, dentre outros fatores, da correta escolha da espécie de oleaginosa, da produtividade e do seu rendimento em óleo. Dadas as características edafoclimáticas no extenso território nacional, determinadas espécies prosperam mais ou menos em função da área em que são cultivadas. O teor de óleo (%) relaciona-se com o tipo de cultura, conforme a

Tabela 3.

Tabela 3. Teor de óleo das espécies potencialmente produtoras de óleo para biodiesel (%)

Espécie	Teor de óleo (%)
Amendoim	40-60
Girassol	40-47
Soja	18-21
Mamona	40-60
Algodão	18-20
Canola	34-40
Crambe	38-40
Pinhão manso	55-60

Fonte: Khan et al. (2015)

A cultura do amendoim, cujo nome científico é *Arachis hypogaea*, é considerada uma das principais oleaginosas cultivadas no Brasil. A semente seca de amendoim possui em torno de 50% de óleo, constituído por cerca de 50-60% de ácido oléico, 18-30% de ácido linolêico e 6-12% do ácido palmítico. Do ponto de vista econômico, possui alto custo devido à exportação para fins alimentares. Contudo, se for empregado na rotação de cultura nos canaviais, principalmente na região nordeste, já que atualmente o maior produtor do país é o estado de São Paulo, o cultivo do amendoim pode viabilizar economicamente a utilização desse óleo para produção de biodiesel (Oliveira, 2017).

O girassol, *Helianthus annuus*, tem a vantagem de poder ser cultivado na entressafra, se adaptando em todo o território brasileiro e apresenta ciclo curto; atualmente, a maior utilização do girassol é para a extração de óleo para obtenção de biodiesel (Santos, 2014).

Destacam-se também as matérias-primas de origem animal, sendo 2,5 milhões de toneladas de gordura provenientes do abate industrial de aves, bovinos e suínos produzidas por ano no território nacional. Desses resíduos, podem ser aproveitados o sebo bovino, a banha de porco e o óleo de peixes e aves, sendo que, convertendo um quilo de rejeito de origem animal, é possível produzir aproximadamente 650 mililitros de biocombustíveis. Em comparação com o biodiesel vegetal, a gordura animal

apresenta vantagens como o maior número de cetano, maior estabilidade de oxidação e menor teor de iodo. Em contrapartida, a gordura animal apresenta uma maior quantidade de enxofre, o que reduz a qualidade do biodiesel. Além disso, no processo de fabricação há a formação de sabões ao invés de biocombustíveis, diminuindo a eficiência do processo (Barros e Jardine, 2017).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

O experimento foi realizado no laboratório de Biocombustível e Ensaio de Máquinas-BIOEM, nas dependências do departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista (FCAV-UNESP), Câmpus Jaboticabal-SP. A localização geográfica da área de realização dos ensaios é definida pelas coordenadas 21°15' latitude sul e 48°18' longitude oeste, sendo a elevação média do município em relação ao nível do mar de 570 m. O clima é classificado como tropical úmido (Aw), de acordo com a classificação de Köppen, com precipitação de 1.340 mm, concentrada no verão, e temperatura média anual de 21,7 ° C, verões quentes e invernos amenos (Alvares et al., 2013; Cepagri, 2016).

3.2 Biodiesel utilizados

Foram utilizados quatro tipos de biodiesel: Amendoim etílico filtrado, Girassol etílico filtrado, Soja etílico filtrado e biodiesel obtido a partir de óleo residual de frituras coletado em restaurante, também etílico filtrado. Os tipos de biodiesel avaliados foram produzidos e fornecidos à FCAV-UNESP pelo Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas da Universidade de São Paulo, LADETEL - USP, localizado na cidade de Ribeirão Preto-SP, conforme parceria estabelecida desde 2001.

3.3 Diesel

O óleo diesel utilizado foi o S50, com 50 mg kg⁻¹ enxofre total, regulamentado no mercado nacional pelo PROCONVE (Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores), adquirido na rede comercial da cidade de Jaboticabal - SP.

3.4 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), em esquema fatorial 5X4, com três repetições. O primeiro fator foi constituído por cinco proporções de biodiesel misturado ao diesel S50 (B0, B25, B50, B75 e B100), em que o número indica a percentagem de biodiesel e diesel da mistura, e o segundo fator composto por quatro tipos de biodiesel, oriundo de diferentes matérias-primas (amendoim, girassol, soja e óleo residual de frituras coletado em restaurante). A análise do desempenho foi realizada com parcelas experimentais de 20m de comprimento, com 15m entre as parcelas, destinado as manobras (Figura 8).

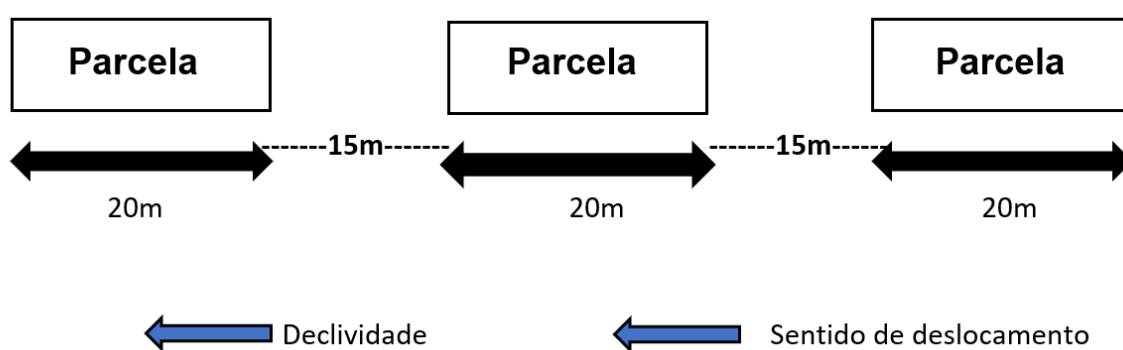


Figura 8. Disposição das parcelas na área

As combinações e designações dos tratamentos do ensaio estão descritas abaixo (Tabela 4).

Tabela 4. Relação e designação dos tratamentos

TRATAMENTOS	PROPORÇÃO (%)		DESIGNAÇÃO
	BIODIESEL	DIESEL	
T1	0	100	B0D100
T2	25	75	B25D75
T3	50	50	B50D50
T4	75	25	B75D25
T5	100	0	B100D0

3.5 Trator de teste e trator de frenagem

O trator utilizado foi da marca Valtra, modelo BM100, 4X2 com Tração Dianteira Auxiliar (TDA), potência de 74 kW (100cv) a 2.300 rpm no motor e massa de 5,4 toneladas, de tal forma que 40% da massa foi distribuída no eixo dianteiro e 60% no eixo traseiro. A máquina estava equipada com pneus 14.9-24 no eixo dianteiro e 23.1-26 no eixo traseiro (Figura 9), sendo o trator instrumentado para a realização dos testes segundo Lopes et al. (2006).



Figura 9. Vista lateral do trator de teste instrumentado.
Fonte: Lopes (2006).

Com a finalidade de gerar carga à barra de tração no trator de teste durante os ensaios, um segundo trator marca Valtra, modelo BH140 4x2, dotado de Tração Dianteira Auxiliar (TDA), com potência no motor de 103 kW ou 140cv a 2400 rpm, massa de 7,4 toneladas, distribuída 40% no eixo dianteiro e 60% no eixo traseiro foi utilizado. O segundo trator, também denominado trator de frenagem, foi acoplado ao trator de teste por meio de um cabo de aço. O trator de frenagem foi utilizado desligado e engrenado na segunda marcha reduzida, visto que, sua função nos ensaios era apenas fornecer cargas na barra de tração do trator de teste (Figura 10).



Figura 10. Avaliação do ensaio de desempenho do trator de teste tracionando trator de frenagem.

Fonte: Lopes (2006).

3.6 Condução dos testes e informações obtidas

Os dados coletados inerentes às variáveis consumo de combustível, temperatura de ida e retorno do combustível, força na barra de tração, rotação da tomada de potência e velocidade de deslocamento foram monitorados e armazenados no sistema de aquisição de dados marca Campbell scientific, modelo Microllogger CR23X. Os dados foram transferidos para um computador via porta de comunicação serial (RS232) e posteriormente processados.

3.7 Variáveis analisadas

3.7.1 Velocidade de deslocamento

Utilizou-se um radar RVS II da marca Dick para determinação da velocidade de deslocamento. O erro estimado do radar é de $\pm 3\%$ para velocidades de 3,2 a 71 km h^{-1} . O equipamento foi acoplado no trator, de acordo com as recomendações do fabricante, sendo instalado na parte inferior, observada uma angulação de 45° em relação à superfície do solo. Os valores foram obtidos em m h^{-1} e posteriormente convertidos para km h^{-1} .

3.7.2 Força na barra de tração

A mensuração da força de tração foi realizada por meio de uma célula de carga TF400, marca M.Shimitsu, com escala nominal de 0 a 10 Tonelada-Força (Tf), fabricada em aço liga, acoplada à barra de tração do trator de teste. Visando absorver os impactos laterais, verticais, horizontais ou torção, utilizou-se o sistema de berço para montagem da célula de carga. Esse sistema tem como função manter a integridade física da célula de carga durante a realização de manobras ou paradas bruscas.

A estimativa foi feita com base na potência líquida do motor, multiplicada por 0,9, considerando a tração TDA e as condições da superfície do solo, de acordo com a metodologia utilizada por Molin (2002).

Equação 1:

$$FT = \frac{P}{v}$$

Em que,

FT: Força em Newtons – N (1N = 9,81kgf, \cong 10kgf)

P: Potência em watts – W (1000 W = 1kW = 1,36cv)

v: Velocidade de deslocamento em m/s (1m/s = 3,6 km/h)

A conversão da FBT de Newtons para kgf foi feita com a multiplicação de FBT(N)x10.

3.7.3 Potência na barra de tração

A potência média na barra de tração foi determinada pela equação:

Equação 2:

$$PB = FT \cdot v$$

Em que,

PB = Potência na barra (kW);

FT: Força média de tração na barra (kN);

V: Velocidade de deslocamento (m/s).

3.7.4 Consumo de combustível e temperaturas de ida e retorno

O consumo de combustível foi calculado considerando a temperatura e o volume do combustível que alimentava a bomba injetora, bem como o volume e a temperatura de retorno do combustível ao tanque. A diferença entre as duas medidas (alimentação e retorno) resultou no consumo de combustível, sendo a temperatura do combustível aferida para correção da densidade.

O sistema era constituído por dois conjuntos: um para alimentação da bomba injetora e outro para o retorno. Os dois conjuntos foram equipados com medidor de fluxo Flowmate LSN48 da marca Oval, com precisão de vazão nominal de 1% e vazão máxima de 100L h⁻¹ e um sensor resistivo de temperatura PT100, resistência de 100 ohms a 0°C. Os valores de temperatura foram obtidos em °C e os de fluxo de combustível em mL. Esses dados foram utilizados para determinação do consumo horário volumétrico e ponderal e consumo específico.

3.7.5 Consumo horário volumétrico de combustível

É a informação mais quantificada em campo por agricultores e operadores de máquinas agrícolas para mensurar o consumo de combustível em virtude da facilidade do cálculo, podendo ser obtida de forma indireta por meio de volume conhecido e tempo utilizado entre o início e término de uma operação. Para o cálculo do consumo horário volumétrico foram considerados o volume e o tempo do percurso em cada

parcela experimental, sendo utilizada a seguinte equação:

Equação 3:

$$CV = \left(\frac{Va - Vr}{t} \right) * 3,6$$

Em que,

CV: Consumo horário (L h⁻¹);

Va: Volume de alimentação de combustível na entrada da bomba injetora (mL);

Vr: Volume total retornado dos bicos e da bomba injetora (mL);

t: Tempo de percurso na parcela (s);

3,6: Fator de conversão.

3.7.6 Consumo horário ponderal de combustível

Para determinação do consumo ponderal, foi considerada a influência da temperatura durante os testes para correção da densidade. A conversão da massa do volume de alimentação foi feita separada do retorno. O consumo foi calculado com por meio da equação:

Equação 4:

$$CHP = \left(\frac{3,6}{1.000 * t} \right) * (Va * Da - Vr * Dr)$$

Em que,

CHP: Consumo horário ponderal (kg h⁻¹);

3,6 e 1000: Fatores de conversão;

t: tempo de percurso na parcela (s);

Va: Volume de alimentação de combustível na entrada da bomba injetora (mL);

Da: Densidade do combustível no momento da alimentação (g L⁻¹);

Vr: Volume total retornado dos bicos e da bomba injetora (mL);

Dr: Densidade do combustível retornado pelos bicos e bomba injetora (g L⁻¹).

3.7.7 Consumo específico de combustível

A variável consumo específico expressa o consumo de combustível em unidade de massa por unidade de potência na barra de tração. O cálculo foi realizado a partir da seguinte equação:

Equação 5:

$$CE = \left(\frac{Ch.p}{PB} \right) \times 1000$$

Em que,

CE: Consumo específico ($gkWh^{-1}$);

Ch.p: Consumo horário ponderal ($kg h^{-1}$);

PB: Potência na barra de tração (kW);

1000: Fator de conversão.

3.7.8 Variação da temperatura das misturas

A variação de temperatura (ΔT (%)) representa o aquecimento do combustível em percentagem, considerando a temperatura de ida até a bomba injetora e de retorno ao tanque do trator e foi obtida pro meio da equação:

Equação 6:

$$\Delta T_m (\%) = | (TI \cdot 100) / TR - (100) |,$$

Onde,

ΔT_m (%): variação da temperatura em percentagem;

TI: Temperatura de ida do combustível que alimenta a bomba injetora;

TR: Temperatura do combustível que retorna ao tanque;

100: fator de conversão;

|: módulo.

3.8 Variação da densidade das misturas

A partir da densidade previamente calculada em g L⁻¹ para cada proporção das misturas em todos os tipos de biodiesel e das temperaturas de ida e retorno das misturas, foi calculada a variação da densidade (ΔD (%)). Essa variável expressa a redução percentual da densidade em função da variação de temperatura das misturas para cada tipo de biodiesel e foi calculada pela seguinte equação:

Equação 7:

$$\Delta D (\%) = | (DTI*100) / DTR - (100) |,$$

Em que,

ΔD (%): variação da densidade em percentagem;

DTI: Densidade do combustível obtida considerando a temperatura de ida;

DTR: Densidade do combustível retornado ao tanque (aquecido);

100: fator de conversão;

|: módulo.

3.9 Análises estatísticas

Os dados foram tabulados em planilhas do Microsoft Excel e submetidos ao teste de normalidade dos resíduos (erros) pela metodologia de Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling, ambos apresentaram normalidade. Foi realizado o estudo da homogeneidade das variâncias pelo teste clássico de Levene, Bartlett e Box-Cox. Atendidas as premissas básicas, a análise de variância (ANAVA) foi feita para todas as variáveis. Aplicou-se o teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade para o fator qualitativo tipo de biodiesel, utilizando-se o programa estatístico R (TEAM, 2013). Foi feita a análise de regressão para o fator quantitativo proporção, onde os modelos lineares, quadráticos ou cúbicos foram escolhidos com base no maior grau da equação e na significância dos coeficientes de determinação da regressão, R², no software estatístico AgroEstat (Barbosa & Maldonado, 2015).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os dados apresentados na Tabela 5, verifica-se que não houve interação significativa entre os fatores para as variáveis Força de Tração (FT) na barra, Velocidade (V) e Potência na barra (PB) e que os fatores, quando avaliados individualmente, não influenciaram ($p < 0,05$) as mesmas. Os coeficientes de variação foram baixos (<10%) para todas as variáveis avaliadas nesse experimento, indicando pouca variação entre os dados coletados.

Tabela 5. Síntese da análise de variância, análise de regressão e do teste de médias para as variáveis força de tração (FT), velocidade (V), potência na barra (PB), temperatura de ida (TI) e temperatura de retorno (TR).

Fonte de Variação	Valores de F				
	FT (kgf)	V (km h ⁻¹)	PB (kW)	TI (°C)	TR (°C)
Proporção (P)	0,58 ^{NS}	0,17 ^{NS}	0,21 ^{NS}	105,03 ^{**}	358,9 ^{**}
Tipo de Biodiesel (TB)	0,43 ^{NS}	0,79 ^{NS}	0,91 ^{NS}	184,99 ^{**}	3851,5 ^{**}
P*TB	1,03 ^{NS}	0,27 ^{NS}	0,42 ^{NS}	19,97 ^{**}	334,8 ^{**}
CV (%)	0,93	1,44	1,72	1,45	0,28
Análise de regressão para o fator proporção					
Linear	0,42 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,79 ^{NS}	-	-
Quadrática	0,00 ^{NS}	0,37 ^{NS}	0,01 ^{NS}	-	-
Cúbica	1,70 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,01 ^{NS}	-	-
Teste de médias de Tukey ($p < 0,05$)					
Tipo de biodiesel					
Amendoim	2221,2a	5,30a	32,1a	-	-
Girassol	2221,6a	5,29a	32,0a	-	-
Óleo residual	2226,0a	5,33a	32,3a	-	-
Soja	2217,5a	5,29a	32,0a	-	-

Nota: médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **: significativo a 1% ($p < 0,01$); *: significativo a 5% ($p < 0,05$); NS: não significativo; CV (%): coeficiente de variação

Dados semelhantes aos encontrados nesse estudo foram descritos nos estudos desenvolvidos por Neves (2016) e Camara (2009) que concluíram que os tipos de biodiesel e as proporções de mistura não influenciaram na força e na potência na barra de tração; os mesmos autores relataram que a velocidade de deslocamento do trator também não é afetada por nenhum dos fatores.

A análise de variância apresentou interação significativa entre os fatores para as variáveis temperatura de ida do biodiesel e temperatura de retorno, sendo o desdobramento feito por meio da análise de regressão, adotando-se o maior expoente significativo como critério para escolha do melhor modelo de ajuste dos dados (Tabela 6).

Tabela 6. Análise de regressão da interação entre os fatores proporção e tipo de biodiesel para as variáveis temperatura de Ida (TI) e temperatura de Retorno (TR)

Tipo de biodiesel	Análise de regressão da interação entre os fatores					
	TI (°C)			TR (°C)		
	Linear	Quadrática	Cúbica	Linear	Quadrática	Cúbica
Amendoim	98,8**	146,5**	2,30 ^{NS}	1024,3**	403,4**	65,7**
Girassol	46,8**	12,3**	11,6**	285,5**	451,3**	1,53 ^{NS}
Óleo residual	212,9**	60,5**	18,9**	2130,1**	652,3**	9,98**
Soja	0,0 ^{NS}	3,3 ^{NS}	20,4**	236,7**	58,7**	18,13**

*: Significativo a 5% de probabilidade ($p < 0,05$); **: Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); NS: não significativo

De acordo com os dados contidos na Figura 11, a temperatura de ida ou temperatura ambiente variou para os quatro tipos de biodiesel em função da proporção da mistura. O biodiesel de amendoim demonstrou comportamento quadrático em relação as misturas testadas, com alto valor do coeficiente de determinação, 0,98, indicando bom ajuste entre a linha de tendência e os dados, sendo o maior valor da temperatura de ida observado em B50 e o menor valor quando se utiliza o B0.

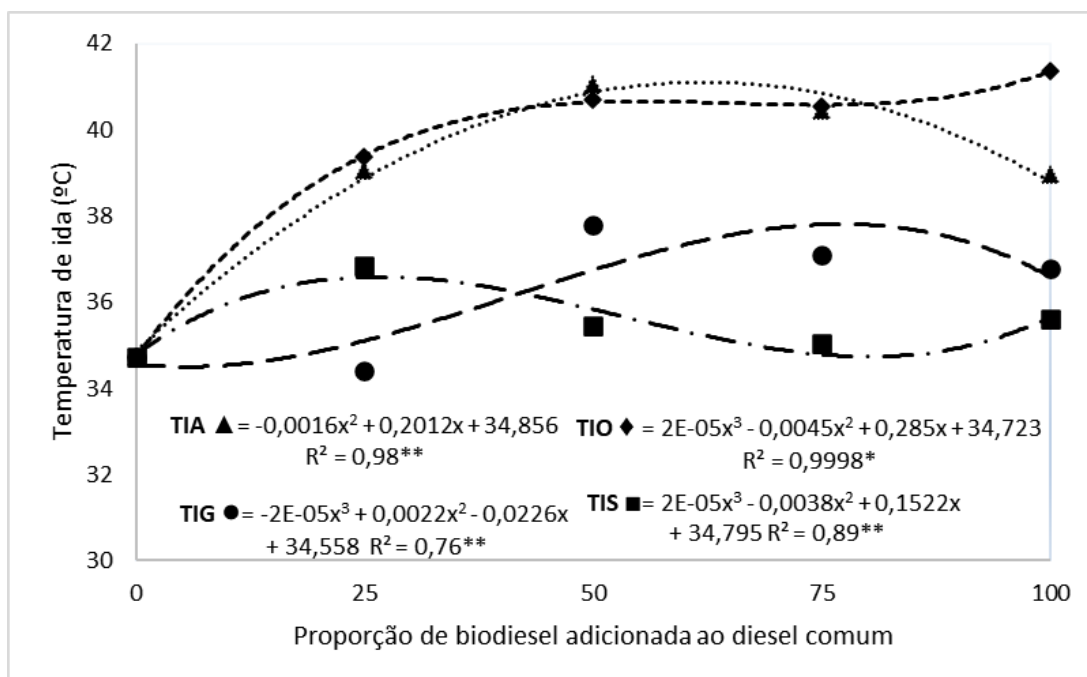


Figura 11. Temperatura de ida em função do tipo de biodiesel e proporção
 Nota: TIA: temperatura de ida das misturas com biodiesel de amendoim; TIG: temperatura de ida das misturas com biodiesel de girassol; TIO: temperatura de ida das misturas com biodiesel de óleo residual de frituras; TIS: temperatura de ida das misturas com biodiesel de soja

Os tipos de biodiesel de girassol, óleo residual de frituras e soja foram melhor ajustados à linha de tendência cúbica, de tal forma que os menores valores foram observados em B0, ou seja, no diesel S50 puro. A maior temperatura de ida encontrada para os biodiesel de girassol e gordura foi de 37,8 e 41,1°C nos níveis B50 e B100, respectivamente. A mistura B25 foi responsável pela maior TI do biodiesel de soja.

Na Figura 12, avaliando-se a temperatura de retorno das misturas para cada tipo de biodiesel, nota-se que B0 sofreu menos aquecimento quando foi comparado às demais misturas contendo biodiesel de amendoim e óleo residual de frituras. ambos 43,9°C. As análises realizadas para os tipos de biodiesel de girassol e soja demonstram que as menores temperaturas de retorno foram verificadas para o biodiesel S50, B100, ambos com 43,9°C.

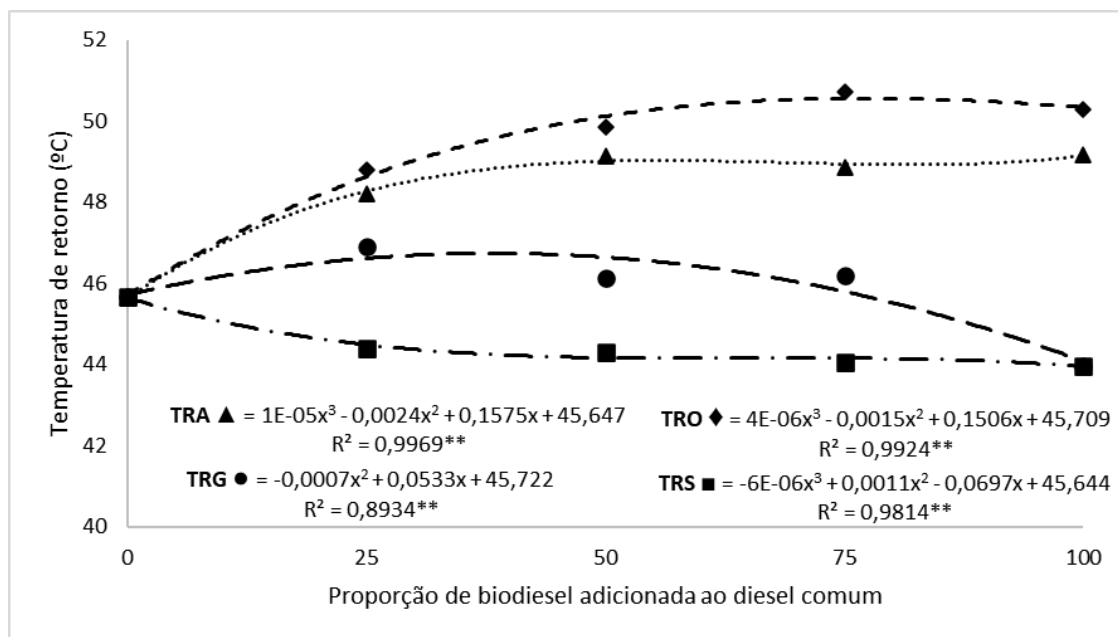


Figura 12. Temperatura de retorno em função do tipo de biodiesel e proporção de mistura com o diesel S50

Nota: TRA: temperatura de retorno das misturas com biodiesel de amendoim; TRG: temperatura de retorno das misturas com biodiesel de girassol; TRO: temperatura de retorno das misturas com biodiesel de óleo residual de frituras; TRS: temperatura de retorno das misturas com biodiesel de soja

O desdobramento da análise de variância para cada tipo de biodiesel em relação a proporção de mistura revelou diferença significativa pelo teste de Tukey (Tabela 7). As menores temperaturas de ida em B25, B50 e B75 foram de 34,40, 35,46 e 35,03°C, destacando-se os biodieseis de girassol, soja e soja, respectivamente. O biodiesel de amendoim apresentou a maior temperatura, 38,96°C, 8,6% superior ao biodiesel de soja.

Tabela 7. Desdobramento do teste de médias de Tukey para a temperatura de ida: tipo de biodiesel dentro de cada proporção de mistura

Tipos de biodiesel	Temperatura de ida				
	Proporção de biodiesel misturado ao diesel				
	0	25	50	75	100
Amendoim	34,73a	39,06b	41,03a	40,43a	38,96b
Girassol	34,73a	34,40c	37,80b	37,10b	36,76c
Óleo	34,73a	39,36a	40,70a	40,53a	41,36a
Soja	34,73a	36,83b	35,46c	35,03c	35,60c
F	0,00 ^{NS}	54,40 ^{**}	70,52 ^{**}	73,76 ^{**}	66,19 ^{**}

Nota: médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; NS: não significativo; **: significativo a 1% de probabilidade

A temperatura de retorno em função da proporção de mistura e tipo de biodiesel foi desdobrada na Tabela 8 por meio do teste de médias de Tukey ($p < 0,05$). Constatou-se temperatura de 45,66°C para o diesel S50. Nos percentuais de mistura de B25 a B75, as maiores temperaturas de 48,80, 49,86 e 50,73°C, respectivamente, foram obtidas para o biodiesel de óleo residual de soja. O biodiesel de soja e girassol apresentaram os menores valores de 43,96°C, sendo estatisticamente iguais entre si.

Tabela 8. Desdobramento do teste de médias de Tukey para a temperatura de retorno: tipo de biodiesel dentro de cada proporção de mistura

Tipos de biodiesel	Temperatura de retorno				
	Proporção de biodiesel misturado ao diesel				
	0	25	50	75	100
Amendoim	45,66a	48,20b	49,13b	48,96b	49,16b
Girassol	45,66a	46,90c	46,13c	46,20c	43,96c
Óleo	45,66a	48,80a	49,86a	50,73a	50,30c
Soja	45,66a	44,40d	44,30d	44,06d	43,96c
F	0,00 ^{NS}	646,84 ^{**}	1148,85 ^{**}	1476,40 ^{**}	1918,68 ^{**}

Nota: médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; NS: não significativo; **: significativo a 1% de probabilidade

O estudo das variáveis TI e TR pode ser considerado relevante devido ao fato de que o aumento da temperatura promove influência direta na densidade do combustível (Tabela 9). Para estimativa do desempenho operacional de tratores agrícolas, a densidade integra a equação utilizada para determinação do consumo horário ponderal, influenciando também o consumo específico.

Tabela 9. Variações da temperatura (ΔT_m (%)) e densidade das misturas (ΔD (%)) em função do tipo de biodiesel e das temperaturas de ida (TI) e retorno (TR).

Tipo de biodiesel	Proporção	TI	TR	ΔT_m (%)	ΔD (%)
Amendoim etílico filtrado	B0D100	34,7	45,7	24,07	0,59
Amendoim etílico filtrado	B25D75	39	48,2	19,09	0,64
Amendoim etílico filtrado	B50D50	41	49,1	16,50	0,60
Amendoim etílico filtrado	B75D25	40,4	48,9	17,38	1,17
Amendoim etílico filtrado	B100D0	38,9	49,2	20,93	0,78
Girassol etílico filtrado	B0D100	34,7	45,7	24,07	0,59
Girassol etílico filtrado	B25D75	34,4	46,9	26,65	0,61
Girassol etílico filtrado	B50D50	37,8	46,1	18,00	0,59
Girassol etílico filtrado	B75D25	37,1	46,2	19,70	0,79
Girassol etílico filtrado	B100D0	36,8	43,9	16,17	1,18
Óleo residual etílico filtrado	B0D100	34,7	45,7	24,07	0,59
Óleo residual etílico filtrado	B25D75	39,4	48,8	19,26	0,99
Óleo residual etílico filtrado	B50D50	40,7	49,9	18,44	0,97
Óleo residual etílico filtrado	B75D25	40,5	50,7	20,12	0,77
Óleo residual etílico filtrado	B100D0	41,4	50,3	17,69	1,00
Soja etílico filtrado	B0D100	34,7	45,7	24,07	0,59
Soja etílico filtrado	B25D75	36,8	44,4	17,12	0,98
Soja etílico filtrado	B50D50	35,5	44,3	19,86	0,99
Soja etílico filtrado	B75D25	35	44	20,45	0,78
Soja etílico filtrado	B100D0	35,5	43,9	19,13	0,78

As maiores variações de temperatura foram constatadas quando se utilizou o diesel S50, B0, com diferença correspondente a 24% entre a admissão da mistura até os bicos injetores e retorno ao tanque. Embora seja o maior aquecimento observado,

a variação da densidade para BO foi a menor entre todas as misturas testadas, 0,59%, resultando em uma menor perda de densidade em função da elevação da temperatura.

As misturas B75, B100, B100 e B50 de amendoim, girassol, óleo residual e soja apresentaram as maiores reduções da densidade, 1,17%, 1,18%, 1% e 0,99%, respectivamente. Para o biodiesel de amendoim, o menor aquecimento do combustível foi mensurado em B50. Embora não tenha sido constatada diferenças significativas no estudo da redução da densidade sob efeito do aquecimento das misturas, os valores apresentados representam incremento considerável no custo das operações agrícolas em áreas médias e grandes, tendo em vista o grande volume de combustível consumido.

A densidade de uma amostra é uma grandeza física caracterizada pela razão da massa pelo seu volume, sendo dependente da temperatura. Geralmente para materiais líquidos como biodiesel, diesel e suas misturas, nota-se que um aumento da temperatura está relacionado com um decaimento na densidade (DAPIEVE, 2015). Leal et al. (2019), estudando as propriedades de misturas contendo biodiesel, concluiu que quando foi elevada a temperatura acima dos 30°C, ocorreu uma diminuição dos valores de densidade dos fluidos estudados.

Na Tabela 10, observa-se que o fator proporção influenciou significativamente ($p < 0,01$) as variáveis consumo volumétrico (CV) e consumo específico (CE). Verifica-se interação significativa entre os fatores para a variável consumo ponderal de combustível.

Tabela 10. Síntese da análise de variância, análise de regressão e do teste de médias para as variáveis consumo volumétrico (CV), consumo ponderal (CP) e consumo específico (CE) de combustível.

Fonte de Variação	Valores de F		
	CV (L h ⁻¹)	CP (kg h ⁻¹)	CE (g kW h ⁻¹)
Proporção (P)	75,27**	142,9**	65,4**
Tipo de Biodiesel (TB)	2,22 ^{NS}	3,58**	0,87 ^{NS}
P*TB	1,01 ^{NS}	2,79**	1,66 ^{NS}
CV (%)	1,95	1,72	2,66
Análise de regressão para o fator proporção			
Linear	295,7**	-	258,3**
Quadrática	0,38 ^{NS}	-	0,39 ^{NS}
Cúbica	4,98*	-	2,74 ^{NS}
Teste de médias de Tukey (p<0,05)			
Tipo de biodiesel			
Amendoim	13,47a	-	359,87a
Girassol	13,27a	-	353,10a
Óleo residual	13,49a	-	357,13a
Soja	13,37a	-	358,33a

Nota: médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **: significativo a 1% (p<0,01); *: significativo a 5% (p<0,05); NS: não significativo; CV (%): coeficiente de variação

As matérias-primas avaliadas não influenciaram significativamente o consumo volumétrico de combustível, sendo os valores médios de 13,4 L h⁻¹ observados e semelhantes entre si para todos os tipos de biodiesel. O consumo específico de combustível não foi alterado pelo tipo de biodiesel (p<0,05) pelo teste de Tukey.

De acordo com os dados apresentados na Figura 13, o consumo volumétrico de combustível foi cubicamente influenciado pelo fator proporção com coeficiente de determinação, R²=0,99, demonstrando alta qualidade de ajuste do modelo em relação aos dados. Os valores observados foram de 12,5, 13,43 e 14,25 L h⁻¹ para B0, B50 e B100, respetivamente. Nota-se uma redução de 12,3% nos valores de consumo de combustível entre o diesel S50 e o biodiesel S50, sendo a utilização de B0 mais eficiente.

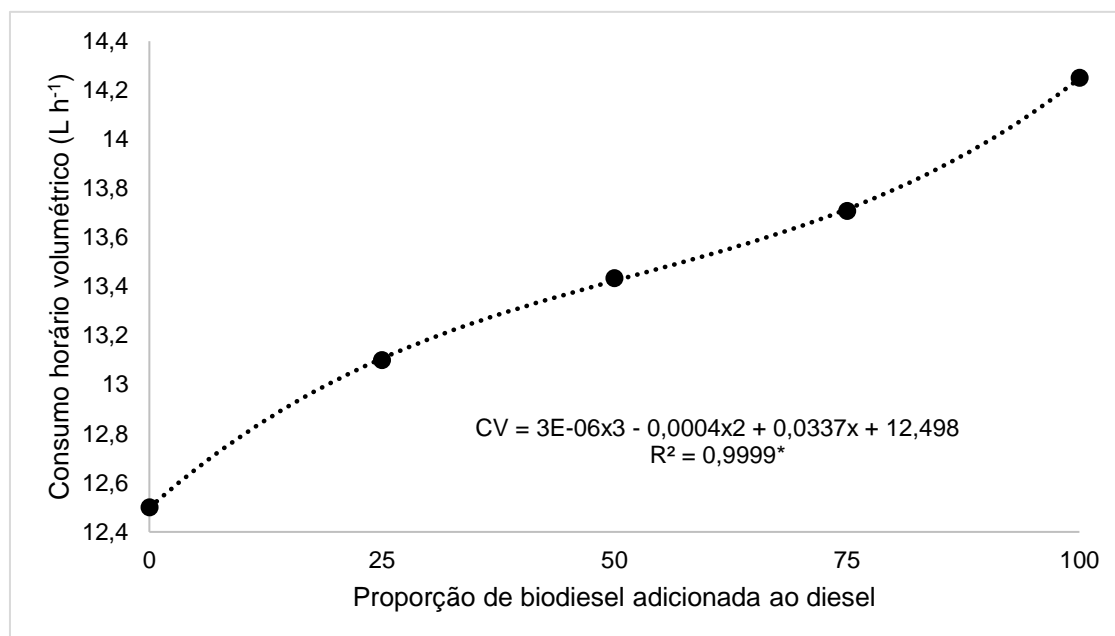


Figura 13. Consumo horário volumétrico em função da proporção de biodiesel.

Os resultados do presente trabalho condizem com os encontrados por Lima et al. (2012), que avaliaram um trator marca Valtra, modelo BM110, motor equipado com turbocompressor e observaram aumento no consumo horário volumétrico de combustível de 23,0%, quando foi comparado biodiesel B100 com o diesel, sendo o B0 mais eficiente. Camara (2009) e Oliveira (2012), ambos estudando o consumo volumétrico em trator VALTRA BM 100 turbo e comparando B0 e B100, observaram incremento aumento de 10,7% quando foi utilizado o biodiesel. Segundo os autores, esse aumento no consumo horário volumétrico pode ser explicado pelo menor poder calorífico do biodiesel em relação ao diesel, desta forma, é necessário a admissão de maior quantidade de combustível para realização de uma mesma quantidade de trabalho.

O desdobramento da interação para o consumo ponderal está apresentado na Figura 14 e na Tabela 9. Nota-se que apenas o biodiesel de soja obteve comportamento quadrático e os demais apresentaram tendência linear. diesel S50 apresentou o menor consumo ponderal de combustível quando comparado às demais misturas com valor de 10,6 kg h⁻¹. B100, para todas as matérias-primas, resultou no maior consumo ponderal de combustível. Os biodiesel de óleo residual de frituras e soja apresentaram os maiores valores, 12,4 e 12,8 kg h⁻¹, 14,5 e 17,2% menos eficiente que B0, respectivamente.

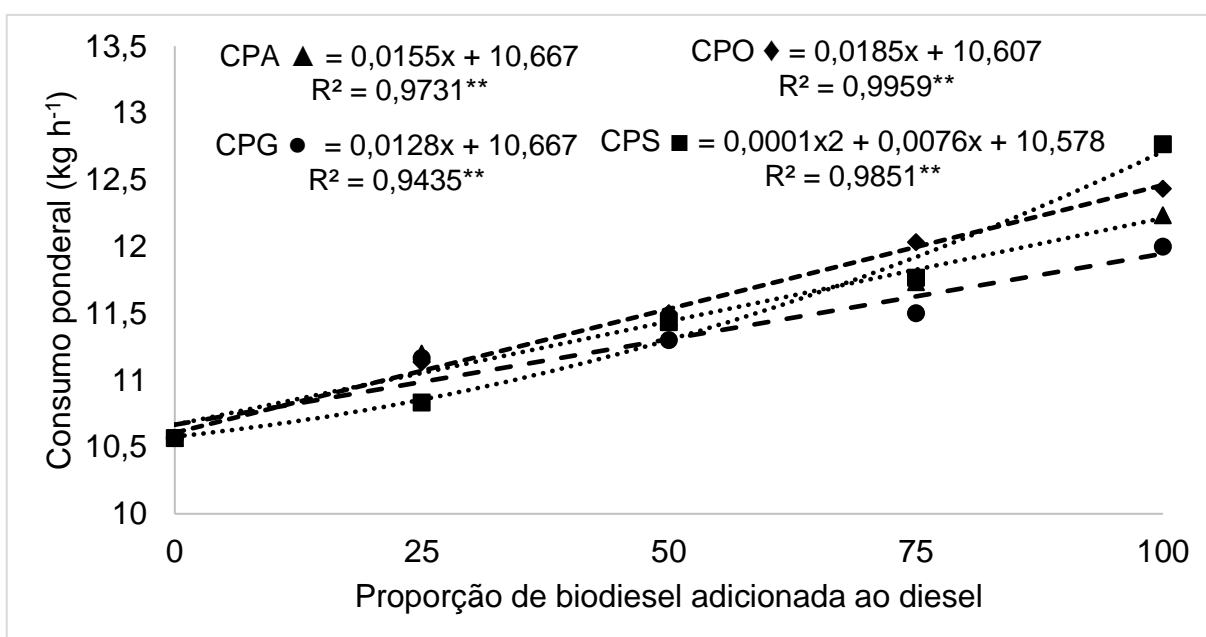


Figura 14. Consumo ponderal de combustível em função do tipo e proporção de biodiesel

Nota: CPA: Consumo ponderal de combustível das misturas com biodiesel de amendoim; CPG: Consumo ponderal de combustível das misturas com biodiesel de girassol; CPO: Consumo ponderal de combustível das misturas com biodiesel de óleo residual de frituras; CPS: Consumo ponderal de combustível das misturas com biodiesel de soja

Estudos utilizando misturas de diesel/biodiesel informaram que houve aumento do consumo ponderal de combustível à medida que as frações de biodiesel na mistura foram elevadas, apontando como justificativas o fato de que o biodiesel possui menor poder calorífico, maior densidade e viscosidade em relação ao diesel (Ileri, 2014; Silva, 2018).

Lopes (2006) e Neves (2013) encontraram valores semelhantes para o consumo ponderal de combustível do trator alimentado com B100D0 de girassol e soja, 11,1 e

12,2 Kg h⁻¹, respectivamente.

O consumo observado para misturas contendo B50D50 e B100D0 de óleo residual de frituras foi de 11,5 e 12,4 kg h⁻¹. A mistura com 25% de biodiesel e 75% de diesel e B100 de amendoim resultou no consumo de 11,2 e 12,2 kg h⁻¹, respectivamente.

Os resultados observados para Chp podem ser explicados devido a esta variável levar em consideração a densidade do combustível, que por sua vez está diretamente ligada à sua estrutura molecular. Os compostos presentes no biodiesel apresentam maiores cadeias carbônicas que os do óleo diesel; portanto, quanto maior a concentração de biodiesel na mistura, maior será a concentração de alquísteres com cadeia carbonônica mais longa, sendo maior a densidade, reduzindo a eficiência do combustível (NEVES, 2016).

Por meio da análise de variância, verificou-se que todos os tipos de biodiesel adicionados nas proporções equivalentes a 25 e 50% ao diesel S50 apresentaram consumo ponderal de combustível estatisticamente igual pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabela 11).

Tabela 11. Análise do consumo ponderal pelo teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade para o tipo de biodiesel em função da proporção de mistura

Tipo de biodiesel	Consumo horário ponderal de combustível (kg h ⁻¹)				
	0	25	50	75	100
	Proporção de biodiesel misturada ao diesel				
Amendoim	10,57a	11,20a	11,46a	11,73ab	12,23bc
Girassol	10,57a	11,16a	11,30a	11,50b	12,01c
Óleo	10,57a	11,13a	11,50a	12,03a	12,43ab
Soja	10,57a	10,83a	11,43a	11,77ab	12,76a
F	0,00 ^{NS}	2,22 ^{NS}	0,60 ^{NS}	3,72 [*]	8,22 ^{**}

Nota: médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; NS: não significativo; *: significativo a 5% de probabilidade; **: significativo a 1% de probabilidade

Houve diferença significativa ($p < 0,05$) nas misturas com 75% de biodiesel e 25% de diesel, com o maior valor, $12,03 \text{ kg h}^{-1}$, verificado para o biodiesel de óleo residual de frituras e o menor consumo de $11,50 \text{ kg h}^{-1}$ para o de girassol. Dentre as quatro matérias-primas avaliadas, B100 de soja promoveu o maior CP, $12,76 \text{ kg h}^{-1}$. O biodiesel de girassol destacou-se quando estudado sem a presença de diesel com menor consumo ponderal de $12,01 \text{ kg h}^{-1}$, o que representa uma redução de 5,9% em relação ao biodiesel de soja.

De acordo com os dados expressos na figura 15, o consumo específico de combustível é linearmente influenciado pelo fator proporção, sendo o maior valor equivalente a $386,5 \text{ g kW h}^{-1}$ observado quando foi utilizado o biodiesel S50, B100, para alimentação do trator de teste. O valor mínimo de consumo, 328 g kW h^{-1} , foi verificado com o uso do diesel S50, B0, 15,2% menor quando comparado a B100. A mistura contendo 50% de diesel e 50% de biodiesel, B50, promoveu a obtenção do valor intermediário de consumo específico de combustível: $355,3 \text{ g kW h}^{-1}$.

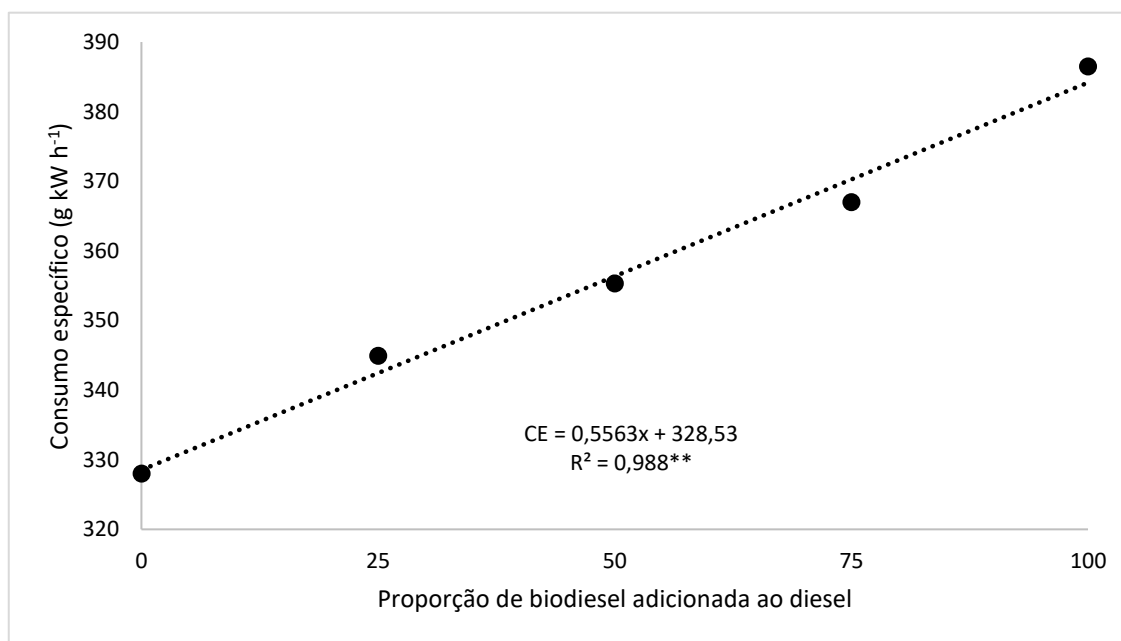


Figura 15. Consumo específico de combustível em função do fator proporção

Neves et al. (2013), avaliando o desempenho de trator agrícola em função do tipo de biodiesel, concluíram que os valores de consumo específico para proporção de mistura, quando comparado B0 e B100, o consumo aumentou 15,8 e 9,6%, para biodiesel de soja e murumuru, respectivamente. Estas diferenças ocorrem devido a maior densidade do biodiesel quando comparado ao diesel, e também pode ser relacionada com o menor poder calorífico do biodiesel em relação ao diesel, conforme Castellaneli et al. (2008) e Murugesan et al. (2009).

5 CONCLUSÕES

O aumento da porcentagem de biodiesel na mistura elevou o consumo de combustível.

Em todas as misturas, o biodiesel de óleo residual de frituras sofreu maior aquecimento ao retornar ao tanque de combustível quando comparado as demais matérias-primas.

Os tipos de biodiesel obtiveram comportamento semelhante quanto ao desempenho operacional do trator.

O menor consumo ponderal de combustível foi verificado para o biodiesel de girassol, sendo o mais eficiente.

Não foi observada nenhuma alteração no funcionamento do motor durante a execução dos ensaios quando variou o tipo de biodiesel.

Salienta-se a importância da continuidade dos estudos e a realização de pesquisas mais detalhadas para que se estabeleça cada vez mais o uso de biodiesel no Brasil por meio da elevação do percentual mínimo exigido.

6. REFERÊNCIAS

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Biocombustíveis. Disponível em: < <https://www.gov.br/anp/pt-br> >. Acesso em: 24 mar. 2021.

Costa AO et al. (2017) *RenovaBio: Biocombustíveis 2030 nota técnica: Regras de comercialização*. Rio de Janeiro: EPE, 19p.

Castellanelli M, Souza SNM, Silva SL, Kailer EK (2008) Desempenho de motor ciclo diesel em bancada dinâmométrica utilizando misturas diesel/biodiesel. **Engenharia Agrícola** 28:145-153.

Murugesan A, Umarani C, Subramanian R, Nedunchezian N (2009) Bio-diesel as an alternative fuel for diesel engines. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 13:653-662.

Vidal MF (2019) **Produção e uso de biocombustíveis no Brasil**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil: BNB, 13p.

TRANSPARENCY, Climate. *Brown to green: The G20 transition to a low-carbon economy*. **Climate Transparency, c/o Humboldt-Viadrina Governance Platform: Berlin, Germany**, 2018.

Cremonese PA, Feroldi M, Feiden A, Teleken JG, Gris DJ, Dieter J, Antonelli J (2015) Current scenario and prospects of use of liquid biofuels in South America. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 43:352-362.

Lossau S, Fischer G, Tramberend S, Velthuisen H, Kleinschmit B, Schomäcker R (2015) Brazil's current and future land balances: Is there residual land for bioenergy production?. **Biomass and Bioenergy** 81:452-461.

Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JDM, Sparovek G (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift** 22:711-728.

Da Sylvio Vieira ASV, Pereira CAF (2020) Análise técnico-social da produção de biodiesel no Brasil e no desenvolvimento agrícola do norte de Minas Gerais. **DRd-Desenvolvimento Regional em debate** 10:789-809.

Ramos LP, Kothe V, César-Oliveira MAF, Muniz-Wypych AS, Nakagaki S, Krieger N, Cordeiro CS (2017) Biodiesel: matérias-primas, tecnologias de produção e propriedades combustíveis. **Revista virtual de química** 9:317-369.

Marques L (2018) Os recordes climáticos de 2017 e o legado da atual geração. **Jornal da Unicamp** 5:1-2.

Vital MHF (2018) **Aquecimento global: acordos internacionais, emissões de CO2 e o surgimento dos mercados de carbono no mundo**. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social: BNDES, 84p.

Furtado MIV, Furtado RC (2020) Estudo avaliativo da emissão de CO₂ a partir de combustíveis fósseis utilizando Redes Neurais. **Conhecimento & Diversidade** 11:47-62.

Ortiz RG (2017) **Avaliação da integridade da pasta de cimento classe G com a rocha arenito da Bacia do Paraná em condições de armazenamento geológico de CO₂**. 163f. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) – PUC, Porto Alegre.

De Aragão Pedroso LL, da Silva FF, da Silva FF, Melo ÁM, Junior ME, Shimoya A, de Souza CLM (2018) Demandas atuais e futuras da biomassa e da energia renovável no Brasil e no mundo. **Brazilian Journal of Development** 4:1980-1996.

Heubaum H, Biermann F (2015) Integrating global energy and climate governance: The changing role of the International Energy Agency. **Energy Policy** 87:229-239.

Brüggemeier FJ (2015) **Sól, água, vento: o desenvolvimento da transição energética na Alemanha**. Friedrich Ebert Stiftung.

Pinheiro MBC (2020) **Previsão da produção de fontes renováveis e não renováveis selecionadas da matriz energética brasileira**. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) UFC, Fortaleza.

Farina EMMQ, Rodrigues L (2018) A política nacional de biocombustíveis e os ganhos de eficiência no setor produtivo. **Boletim de Conjuntura** 3:4-8.

GALBIATTI-SILVEIRA P (2018) Energia e mudanças climáticas: impactos socioambientais das hidrelétricas e diversificação da matriz energética brasileira. **Opinião Jurídica** 17:123-147.

De Andrade JBSO, Dutra L, Schwinden NBC, De Andrade SF (2015) Future scenarios and trends in energy generation in Brazil: supply and demand and mitigation forecasts. **Journal of Cleaner Production** 103:197-210.

Moraes ML, Bacchi MRP (2015) Etanol: do início às fases atuais de produção. **Revista de Política Agrícola** 23:5-22.

Castro CN (2011) **O programa nacional de produção e uso do biodiesel (PNPB) e a produção de matéria-prima de óleo vegetal no Norte e no Nordeste**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada: IPEA, 52p.

IRENA. International Renewable Energy Agency. Wind Power, Technology Brief. 2016. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2016/Mar/Wind-Power> . Acesso em: 24 fev. 2021.

Mazivila SJ, de Santana FB, Mitsutake H, Gontijo LC, Santos DQ, Neto WB (2015)

Discrimination of the type of biodiesel/diesel blend (B5) using mid-infrared spectroscopy and PLS-DA. **Fuel** 142:222-226.

BAMBO, Tomé Fernando. **Cooperação sul-sul: O acordo Brasil-Moçambique na área de biocombustíveis**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

Máquina AD, Siteo BV, Ferreira MT, Santos DQ, Borges NW (2020) Regressão multivariada por opls e pls dos espectros de rnm de 1h de misturas diesel/biodiesel de mafurra para estimativa do teor de biodiesel. **Química nova** 43:863-869.

BRASIL. Resolução CNPE nº 16, de 29 de outubro de 2018. Dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional. Brasília, DF.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Biocombustíveis. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis>. Acesso em: 24 fev. 2021a.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Legislação – biodiesel. 2020a. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?pg=53930&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1419273680769>. Acesso em: 24 fev. 2021.

Conti J, Holtberg P, Diefenderfer J, LaRose A, Turnure JT, Westfall L (2016) **International energy outlook 2016 with projections to 2040**. USDOE Energy Information Administration (EIA), Washington, DC (United States). Office of Energy Analysis, 2016.

Martins RO (2020) **Produção de ésteres etílicos a partir do óleo de Moringa oleífera Lam.** 54f.

Sánchez N, Encinar JM, Nogales S, González, J. F (2019) Biodiesel production from castor oil by two-step catalytic transesterification: Optimization of the process and economic assessment. **Catalysts** 9:864.

Paumgarten FJR (2020) Pesticides and public health in Brazil. **Current Opinion in Toxicology** 22:7-11.

Mendonça IM, Paes OA, Maia PJ, Souza MP, Almeida RA, Silva CC, de Freitas FA (2019) New heterogeneous catalyst for biodiesel production from waste tucumã peels (*Astrocaryum aculeatum* Meyer): Parameters optimization study. **Renewable Energy** 130:103-110.

De Oliveira Lopes AC, De França CCL (2021) Análise da produção do biodiesel de óleo de sementes de Fruta do Conde (*Annona squamosa* L.) para a obtenção das condições operacionais ideias. **Brazilian Journal of Development** 7:26627-26633.

Demirbas A (2009) Progress and recent trends in biodiesel fuels. **Energy conversion and management** 50:14-34.

Neves MCT, Lopes A, de Lima LP, de Oliveira MCJ, Koike GHA (2013) Desempenho do trator agrícola em função do tipo de biodiesel (soja x murumuru). **Revista engenharia na agricultura-reveng** 21:351-360.

CEPAGRI, 2016. Clima dos municípios paulista. Disponível em:< http://www.cpa.unicamp.br/outrasinformacoes/clima_muni_279.html >. Acessado em 08 de Nov de 2020.

Camara FT (2009) **Biodiesel de dendê em trator agrícola: desempenho em função do tempo de armazenamento e da proporção de mistura na operação de preparo do solo**. 92f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Unesp, Jaboticabal.

OLIVEIRA, M.C.J (2012) **Biodiesel de mamona em trator agrícola: Desempenho em função do período de armazenamento e da proporção biodiesel\diesel em condição de preparo do solo**. 82f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Unesp, Jaboticabal.

LEPSCH L.H (2020) **Síntese e avaliação das características físico-químicas dos biodiesel metílicos e etílicos de óleos de soja, de palmiste, de amêndoa de macaúba e de algas marinhas (Fucus vesiculosus)**. 132f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) – Unicamp, Campinas.

MOLIN JP, MILAN M (2002) Trator-implemento: dimensionamento. Capacidade operacional e custo. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. Piracicaba: Instituto de Pesquisas Florestais** 409-436.

Barbosa JC, Maldonado Junior W (2015), Jaboticabal, FCAV/UNESP, 396p. **AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos**.

Barros TD, Jardine JG (2017) Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Agroenergia: Gordura Animal**. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/agroenergia> >.

Kumar BR, Saravanan S (2016) Use of higher alcohol biofuels in diesel engines: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 60:84-115.

Ghazali WNMW, Mamat R, Masjuki HH, Najafi G (2015) Effects of biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 51:585-602.

Rigotte MR, Secco D, Rosa HA, de Souza SNM, Santos RF, Gurgacz F, da Silva TRB (2017) Energy efficiency of engine-generator set using biofuels under varied loads. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 79:520-524.

Bizerra AMC, de Queiroz JLA, Coutinho DAM (2018) O impacto ambiental dos combustíveis fósseis e dos biocombustíveis: as concepções de estudantes do ensino médio sobre o tema. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)** 13:299-

315.

BAIRD, C.; CANN, M (2011), Porto Alegre, Bookman, 844p. **Química ambiental**. 4. ed.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética (2020a). Balanço Energético Nacional (BEN) 2020. Relatório Síntese / Ano Base 2019. Ministério de Minas e Energia. Governo Federal do Brasil. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019_Final.pdf . Acesso em: 03 de mar. 2021.

Bernardy AR (2018) **Análise da matriz elétrica brasileira: histórico e tendências**. 53f. TCC (Graduação em Engenharia de Energia) – Ufsc, Araranguá.

Lima LP (2012) **Biodiesel de dendê, mamona e tucumã no desempenho de um trator agrícola na operação de preparo do solo**. 119 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Unesp, Jaboticabal.

Silva MGS, Ferreira KJN, Teixeira MM, Silva FC, Maciel AP (2014) Estudo de viabilidade técnica da produção de biodiesel de babaçu: uma revisão crítica. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde** 12: 434-443.

Delalibera HC, Johann AL, de Figueiredo PR, Toledo AD, Weirich Neto PH, Ralish R (2017) Performance of diesel engine fuelled with four vegetable oils, preheated and at engine working temperature. **Engenharia Agrícola** 37: 302-314.

Pinho LDA, Teixeira FLC (2015) Biodiesel no Brasil: uma análise da regulação e seus reflexos na diversificação das matérias-primas usadas no processo de produção. **Revista Brasileira de Administração Política** 8: 141-161.

Godoy PH de (2021) **Tecnologias para Produção de Biodiesel a partir do Óleo de Cozinha Residual: Uma Análise dos Processos de Transesterificação**. 2021. 43f. TCC (Graduação em Ciência e Tecnologia do mar), Unifesp, Santos.

Neves MCT (2016) **Mistura de biodiesel de soja e de Murumuru em trator agrícola**. 83f. Tese (Doutorado em Agronomia), Unesp, Jaboticabal.

Delalibera HC (2014) **Desempenho de motor diesel alimentado com óleo vegetal**. 70 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Uel, Londrina.

Mathimani T, Mallick N (2018) A comprehensive review on harvesting of microalgae for biodiesel—key challenges and future directions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 91:1103-1120.

Epsch LH (2020) **Síntese e avaliação das características físico-químicas dos biodiesel metílicos e etílicos de óleos de soja, de palmiste, de amêndoa de macaúba e de algas marinhas (Fucus vesiculosus)**. 132f. Dissertação (Mestrado

em Química), Unicamp, Campinas.

EMBRAPA. (2015); Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. “Biodiesel reduz em 70% a emissão de Gases do Efeito Estufa”. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2723697/biodiesel-reduz-em-70-a-emissao-de-gases-do-efeito-estufa>>. Acesso em março de 2021.

Guimarães CC, Santos VML, Cortez JW, Santos LDPGD (2018) Redução da emissão de material particulado em função da inserção de misturas do biodiesel de soja e mamona ao diesel. **Engenharia Sanitária e Ambiental** 23:355-362.

Gonçalves SS, Cortez JW, Arcoverde SNS, Machado NS, Nagahama, H. J (2013) Ensaio de opacidade e nível de ruído de um trator agrícola. **Revista Engenharia na Agricultura** 21:244-252.

Iamaguti PS, Lopes A, De Oliveira MCJ, Neves MCT, Lira TAM, Moreti TCF, Koike GHA (2016) Operational performance of tractor running with diesel and biodiesel from buriti oil (*Mauritia flexuosa*). **Australian Journal of Crop Science** 10:336-341.

De Lima LP, de Oliveira CAA, dos Santos Pereira P, da Silva FJ (2015) Opacidade da fumaça de um trator agrícola funcionando com três fontes de biodiesel como combustível. **Ciência & Tecnologia: FATEC-JB** 7:39-46.

Lira TAM, Santos AP, Moreti TCF, Lopes A, Oliveira MCJ, Neves MCT, Iamaguti PS, Lima LP, Koike GHA, Silva RA (2019) Performance of agricultural tractor consuming diesel and biodiesel derived from babassu (*Orbinya martiana*). **Australian Journal of Crop Science** 13:1037-1044.

Lira TAM, Moreti TCF, Lopes A, Santos AP, Oliveira MCJ, Neves MCT, Iamaguti PS, Lima LP, Koike GHA, Silva RA (2016) Smoke opacity of ethyl biodiesel from babassu and two types of diesel at different daytimes. **African Journal of Agricultural Research** 11:4055-4061.

Lopes A (2006) **Biodiesel em trator agrícola: Desempenho e Opacidade**. 158f. Tese (Livre Docência em Agronomia) – Unesp, Jaboticabal.

Lopes A, Furlani CEA, Silva RP (2003) Desempenho de um protótipo para medição de combustível em tratores. **Revista Brasileira de Agroinformática** 5:24-31.

Lopes A, Camara FT, Oliveira MCJ, Furlani CEA, Silva RP, Mello Júnior JGS (2009) Opacidade da fumaça de trator agrícola utilizando biodiesel em função das condições climáticas no horário de execução do ensaio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, **Anais SBEA**, p.1- 4.

Neves MCT, Lopes A, Oliveira MCJ, Iamaguti PS, Lira TAM, Moreti TCF, Lima LP, Koike GHA (2018) Effects of Murumuru (*Astrocaryum murumuru* Mart.) and soybean biodiesel blends on tractor performance and smoke density. **Australian Journal of Crop Science** 12:878-885.

Neves MCT, Lopes A, Lima LP, Oliveira MCJ, Koike GHA (2013) Desempenho do trator agrícola em função do tipo de biodiesel (soja x murumuru). **Engenharia na Agricultura** 21:351-360.

Simon CP, Vitória EL, Lacerda EG, Freitas ILJ (2018) Operating performance of a tractor working with different ratios of castor bean and jatropha biodiesel. **Revista Engenharia na Agricultura** 26:35-42.

TECNOMOTOR, Tecnomotor Eletrônica do Brasil Ltda. 2012. OPACER TM 133 **Opacímetro de amostragem**. Manual de Operação. São Carlos, 26p.

Santos ZM (2014) **Cultivo de girassol em diferentes épocas no norte Fluminense: características morfológicas, produtivas e teor de óleo**. 75f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal), Uenf, CAMPOS DOS GOYTACAZES.

Oliveira A (2021) **Produção de biodiesel - conheça as principais matérias-primas**. Disponível em: < [http:// https://www.producaodebiodiesel.com.br/materias-primas/producao-de-biodiesel-conheca-as-principais-materias-primas](http://https://www.producaodebiodiesel.com.br/materias-primas/producao-de-biodiesel-conheca-as-principais-materias-primas) >. Acesso em: 19 mar. 2021.

Dapieve DR (2015) **Análise da influência da temperatura sobre propriedades físico-químicas de amostras de diesel, biodiesel e suas misturas**. 131f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais), Utfpr, Medianeira.

Nunes PGK (2017) **Simulação termodinâmica para motores diesel**. 218f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Unicamp, Campinas.

Podorodeczki PR (2016) **Análise de desempenho de motor diesel com injeção eletrônica Common Rail alimentado com misturas diesel-biodiesel em dinamômetro de chassis**. 88f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais), Puc, Porto Alegre.

Bosch R (2005), São Paulo, Blucher, 1232 p. **Manual de Tecnologia Automotiva**.

Pulkrabek WW (2004) **Engineering fundamentals of the internal combustion engine**.

Ileri E, Koçar G (2014) Experimental investigation of the effect of antioxidant additives on NOx emissions of a diesel engine using biodiesel. **Fuel** 125:44-49.

Silva NS (2018) **Efeito da mistura alternativa diesel-biodiesel comerciais/H2 nos motores de combustão interna do tipo diesel: testes em bancada dinamométrica**. 93f. Dissertação (Mestrado em Biocombustíveis), Ufvjm, Diamantina.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS – ANP. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

2018. 2018c. Disponível em: < <https://www.gov.br/anp/pt-br> >. Acesso em: 06 abr. 2021.

dos Santos Leal, E. G., de Sousa Mota, R. C., Kuentzer, R. G., Santos, R. M., dos Santos, P. L. A., & Valverde, C. R. Variação das propriedades de um fluido de perfuração com biodiesel com o tempo e a temperatura. *Petróleo e outros combustíveis Volume 2*, 32.2019. LIVRO OU CAPÍTULO