

VANDER FABIO SILVEIRA

COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO E EMISSÕES DE UM MOTOR  
GERADOR OPERANDO COM DIESEL E BLENDA DE BIODIESEL  
MONITORADO POR SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO

CASCADEL  
PARANÁ – BRASIL  
SETEMBRO – 2021

VANDER FABIO SILVEIRA

**COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO E EMISSÕES DE UM MOTOR  
GERADOR OPERANDO COM DIESEL E BLENDA DE BIODIESEL  
MONITORADO POR SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO**

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

Orientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira

CASCADEL  
PARANÁ – BRASIL  
SETEMBRO – 2021

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

Silveira, Vander Fabio

Comparação de desempenho e emissões de um motor gerador operando com diesel e blends de biodiesel monitorado por sistemas de automação / Vander Fabio Silveira; orientador Jair Antonio Cruz Siqueira. -- Cascavel, 2021.

107 p.

Tese (Doutorado Campus de Cascavel) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2021.

1. Biocombustível. 2. Geração de energia. 3. Controlador lógico programável. 4. Redes industriais. I. Cruz Siqueira, Jair Antonio, orient. II. Título.

## VANDER FÁBIO SILVEIRA

Comparação de desempenho e emissões de um motor gerador operando com diesel e blendas de biodiesel monitorado por sistemas de automação

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



Orientador(a) - Jair Antonio Cruz Siqueira

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



Maritane Prior

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

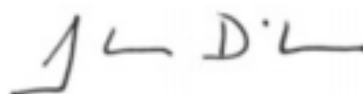


Reginaldo Ferreira Santos

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



Fernando de Lima Caneppele  
Universidade de São Paulo (USP)



Jonathan Dieter

Universidade Federal do Paraná - Campus de Palotina (UFPR)

Cascavel, 23 de setembro de 2021

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, pela vida, por todas as graças que me tem dado e por sempre me colocar entre as pessoas certas;

Aos meus pais, Valdir Freitas Silveira e Fátima Silveira;

À minha amada esposa Juceli, pelo incentivo, carinho e compreensão;

À minha filha Gabriela;

À UNIOESTE, pela estrutura disponibilizada do PPGEA;

Ao professor e orientador Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira, pelo conhecimento transmitido, pela compreensão e pela ajuda durante o processo;

À Dra. Luciene Tokura, pela colaboração com os artigos científicos;

Aos professores Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza, Dr. Flávio Gurgacz, Dr. Alfredo Petrausk, por sempre estarem dispostos a ajudar e pelos ensinamentos durante as disciplinas;

Ao professor Dr. Reginaldo Ferreira Santos, pelos ensinamentos durante as disciplinas, apoio pessoal e confiança nos projetos desenvolvidos no CTA;

Ao professor Dr. Auzuir Ripardo de Alexandria do IFCE, por todo o conhecimento compartilhado e por aceitar sua disciplina em formato remoto neste momento de pandemia;

Ao amigo e colega de turma Cristiano Lewandoski, pelo apoio e empréstimo dos principais equipamentos utilizados neste trabalho;

Aos vários amigos, companheiros de turma e outros, que fiz durante o estudo;

A todos que, de alguma forma, colaboraram para a realização deste trabalho;

A empresa Estrada Distribuidora de Derivados de Petróleo LTDA, localizada na BR 277, km 579 na cidade de Cascavel-PR pela doação do combustível A-S10 utilizado no experimento.

## LISTA DE SÍMBOLOS

A: Ampere  
AC: Corrente Alternada  
ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica  
ANP: Agência Nacional de Petróleo  
AVR: Regulador automático de tensão  
BLENDA: Mistura de biodiesel e diesel  
EE: Eficiência Energética  
E/S: Entrada e saída  
CC: Corrente Contínua  
CE: Consumo Específico  
CH<sub>3</sub>OH: Álcool metílico  
CH<sub>4</sub>: Metano  
CLP: Controlador lógico programável  
CO: Monóxido de carbono  
CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono  
DC: Corrente contínua  
EPE: Empresa de Pesquisa Energética  
g.kWh<sup>-1</sup>: Grama por Quilo watt hora  
g: Grama  
GD: Geração Distribuída  
GEE: Gases de Efeito Estufa  
IHM: Interface homem-máquina  
HC: Hidrocarbonetos  
PM: Material particulado  
LCA: Análise do ciclo de vida  
Kg: Quilograma  
kJ.kg<sup>-1</sup>: Quilojoule por quilograma  
kJ: Quilojoule  
kW: Quilowatt  
kVA: Quilovolt ampere  
kWh: Quilowatt hora

NO: Monóxido de nitrogênio

NO<sub>2</sub>: Dióxido de nitrogênio

NO<sub>x</sub> : Óxido nitroso

NaOH: Hidróxido de sódio

NC: Número de cetano

KOH: Hidróxido de potássio

O<sub>2</sub>: Oxigênio

OCDE: Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico

P.A: Para análise (utilizado em produtos químicos)

rpm: Rotações por minuto

RTU: Unidade terminal remota

tep: Tonelada equivalente de petróleo

V: Volt

Vcc: Volt em corrente contínua

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo do carbono. ....	6
Figura 2. Matriz energética brasileira. ....	7
Figura 3. Consumo de combustível diesel e biodiesel. ....	13
Figura 4. Processo de transesterificação do biodiesel. ....	14
Figura 5. Processo de transesterificação. ....	15
Figura 6. Sistema trifásico .....	25
Figura 7. Principais componentes do CLP. ....	27
Figura 8. Módulo de controlador lógico programável – CLP .....	28
Figura 9. Controlador lógico programável. ....	29
Figura 10. Interface homem-máquina. ....	31
Figura 11. Comunicação MODBUS 2 fios. ....	33
Figura 12. Linha do tempo dos trabalhos realizados. ....	36
Figura 13. Equipamentos utilizados no experimento. ....	37
Figura 14. Armário do sistema elétrico com os componentes de medição, automação e comando. ....	38
Figura 15. Conjunto motor gerador. ....	39
Figura 16. Curva torque, potência, consumo específico de combustível do motor. ..	40
Figura 17. Layout com os equipamentos de medição e barramento de redes industriais. ....	42
Figura 18. Controlador lógico programável com interface homem-máquina. ....	43
Figura 19. Tela principal do CLP/IHM. ....	44
Figura 20. Tela com os botões de seleção das cargas. ....	44
Figura 21. Tela com os medidores de tensão, frequência, corrente, energia e consumo de combustível. ....	45
Figura 22. Medidor multifuncional de parâmetros elétricos DPM-C520. ....	45
Figura 23. TC – Transformador de corrente 50/5. ....	46
Figura 24. RTU (Remote Terminal Unit). ....	47
Figura 25. Componentes elétricos de comando, proteção, acionamento e medição. ....	47
Figura 26. Banco de cargas resistivas. ....	48
Figura 27. Circuito elétrico das cargas. ....	49
Figura 28. Indicador de pesagem digital e célula de carga. ....	50
Figura 29. Analisador de gás. ....	51
Figura 30. Sonda do analisador inserido no escapamento do motor. ....	55
Figura 31. Prensa extrusora de óleo. ....	55
Figura 32. Energia gerada em função das cargas e blendas. ....	61
Figura 33. Consumo específico dos combustíveis para as cargas testadas. ....	63
Figura 34. Emissões de NOx para os combustíveis avaliados nos estudos. ....	65
Figura 35. Emissões de monóxido de carbono para os combustíveis avaliados. ....	67
Figura 36. Emissões de dióxido de carbono para os combustíveis testados. ....	69
Figura 37. Temperatura de gases de exaustão .....	70
Figura 38. Eficiência de energia gerada pelo conjunto motor gerador. ....	71



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Teor de óleo dos grãos e rendimento médio dos óleos.....	9
Tabela 2. Características dos óleos vegetais comparadas com o diesel e o biodiesel .....	9
Tabela 3. Produção de óleo vegetal no Brasil em 2015 .....	10
Tabela 4. Propriedades físico-químicas utilizadas como padrão de qualidade de combustível .....	15
Tabela 5. Principais vantagens e desvantagens do biodiesel em comparação com diesel de petróleo .....	16
Tabela 6. Evolução prevista de mistura de biodiesel .....	18
Tabela 7. Principais emissões do biodiesel.....	20
Tabela 8. Especificações do motor .....	40
Tabela 9. Características do gerador .....	41
Tabela 10. Características técnicas CLP/IHM. ....	43
Tabela 11. Características técnicas do medidor multifuncional.....	46
Tabela 12. Acionamento das cargas resistivas .....	50
Tabela 13. Especificações técnicas da célula de carga SV50 .....	51
Tabela 14. Especificações dos valores medidos pelo analisador PCA-3 .....	52
Tabela 15. Especificações dos valores calculados pelo analisador PCA-3.....	52
Tabela 16. Combustíveis utilizados no experimento .....	52
Tabela 17. Análise físico-química dos combustíveis .....	59
Tabela 18. Poder calorífico dos combustíveis .....	60
Tabela 19. Consumo específico dos combustíveis em função da variação de carga aplicada ao gerador elétrico .....	64
Tabela 20. Emissões de óxidos nitrosos em função da variação de carga aplicada ao gerador elétrico .....	66
Tabela 21. Análise estatística NOx .....	66
Tabela 22. Emissões de monóxido de carbono (CO) para os combustíveis avaliados de acordo com a variação de carga aplicada ao gerador elétrico .....	68
Tabela 23. Análise estatística CO .....	68
Tabela 24. Análise estatística CO <sub>2</sub> .....	70
Tabela 25. Eficiência energética .....	71

SILVEIRA, Vander Fabio. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, setembro de 2021. **Comparação de desempenho e emissões de um motor gerador operando com diesel e blends de biodiesel monitorado por sistemas de automação.** Orientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira.

## RESUMO

Combustíveis como o biodiesel vêm ganhando muita popularidade pelo fato de ser um combustível alternativo, mais limpo e pode ser usado diretamente em motores a diesel sem modificações. O estudo trata da avaliação do desempenho e de emissões de um motor gerador operando com diesel e blends de biodiesel, registrando e monitorando parâmetros elétricos do sistema por meio de equipamentos de automação industrial. O experimento foi conduzido no laboratório Centro de Tecnologia Automotiva (CTA) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Cascavel – Paraná. Foram avaliadas a energia gerada, o consumo específico, a eficiência energética e as emissões geradas pelo conjunto motor gerador. Os tratamentos utilizados foram o diesel de petróleo tipo A e seis blends de biodiesel de canola (B005, B010, B015, B020, B050 e B100). As cargas aplicadas ao motor gerador foram do tipo resistivas de 1,0 1,5 4,5 e 6,0 kW para cada tipo de combustível. A energia gerada se manteve crescente e estável conforme o aumento de carga. O melhor resultado do CE foi com o diesel, seguido por B010 e o B020, ambos para a carga de 4,5 kW. As emissões de gases CO são reduzidas enquanto as emissões de CO<sub>2</sub> aumentam com aplicação de maiores cargas. O biodiesel puro (B100) tende a apresentar melhor EE que as misturas binárias utilizadas quando inserida a carga de 6,0kW. O B100 apresentou EE crescente para as cargas resistivas de 1,0, 1,5, 4,5, 6,0 kW. Os resultados obtidos demonstram que as misturas de biodiesel de canola com o diesel convencional são uma das possíveis soluções viáveis na substituição parcial do diesel mineral.

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

**PALAVRAS-CHAVE:** Biocombustível; Geração de energia; Controlador lógico programável; Redes industriais.

SILVEIRA, Vander Fabio. State University of Western Parana, September 2021. **Comparison of performance and emissions of a generator engine operating with diesel and biodiesel blends monitored by automation systems.** Advisor: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira.

## ABSTRACT

Fuels such as biodiesel are gaining a lot of popularity because it is an alternative fuel, cleaner and can be used directly in diesel engines without modification. It is about the evaluation, performance and emissions of a generator engine operating with diesel and biodiesel blends. Recording and monitoring electrical system parameters through industrial automation equipment. The experiment was conducted at the Automotive Technology Center (CTA) laboratory of the State University of West Paraná (UNIOESTE), Cascavel – Paraná. The energy generated, the specific consumption, the energy efficiency and the emissions generated by the generator set were evaluated. The treatments used were type A petroleum diesel and six canola biodiesel blends (B005, B010, B015, B020, B050 and B100). The loads applied to the generator engine were of the resistive type of 1.0 1.5, 4.5 and 6.0 kW for each type of fuel. The generated energy kept increasing and stable as the load increased. The best CE result was with diesel, followed by B010 and B020 both for the 4.5 kW load. CO gas emissions are reduced while CO<sub>2</sub> emissions increase with application of higher loads. Pure biodiesel (B100) tends to present better EE than the binary mixtures used when inserted at a load of 6.0kW. The B100 showed increasing EE for resistive loads of 1.0, 1.5, 4.5, 6.0 kW. The results obtained demonstrate that the blends of rapeseed biodiesel with conventional diesel are one of the possible viable solutions for the partial replacement of mineral diesel.

"This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001"

**KEYWORDS:** Biofuel; Power generation; Programmable logical controller; Industrial networks.

## ÍNDICE

1	. INTRODUÇÃO .....	1
1.1	Objetivo Geral .....	4
1.2	Objetivos Específicos .....	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1	Sustentabilidade.....	5
2.2	Uso dos combustíveis no Brasil e no mundo .....	6
2.3	Óleos vegetais para a produção de energia.....	8
2.4	Principais matérias-primas utilizadas para a produção de biodiesel .....	9
2.5	Produção do biodiesel.....	11
2.6	Características do biodiesel para utilização em motores diesel .....	15
2.7	Blendas de biodiesel .....	17
2.8	Análise do desempenho de motores a biodiesel .....	18
2.9	Emissões e desempenho de motores a biodiesel .....	20
2.10	Princípios de operação de grupo gerador .....	23
2.11	Alternadores.....	24
2.12	Cargas trifásicas .....	25
2.13	Indústria 4.0 .....	25
2.14	Controlador lógico programável .....	26
2.14.1	Linguagens de programação de CLPs .....	29
2.15	Interface IHM.....	30
2.16	Unidade terminal remota (RTU) .....	31
2.17	Redes industriais.....	31
2.17.1	Foundation Fieldbus .....	32
2.17.2	Modbus.....	32
2.17.3	CAN (Controller Area Network).....	33
2.17.4	OPC Foundation.....	34
2.18	Internet da Coisas – IoT .....	34
2.19	Linha do tempo dos trabalhos desenvolvidos .....	35
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	37
3.1	Material .....	37
3.1.1	Localização do experimento .....	37
3.1.2	Conjunto motor gerador .....	38
3.1.3	Óleo diesel mineral tipo A.....	41
3.1.4	Instrumentação do conjunto motor gerador .....	41
3.1.5	Banco de resistências.....	48
3.1.6	Consumo de combustível .....	50

3.1.7	Analisador de gás .....	51
3.2	Métodos .....	52
3.2.1	Determinação do consumo de combustível .....	53
3.2.2	Avaliação da eficiência energética.....	54
3.2.3	Determinação das emissões geradas pelo conjunto motor gerador .....	54
3.2.4	Extrusão da semente.....	55
3.2.5	Produção do biodiesel .....	56
3.2.6	Análise físico-química dos combustíveis .....	57
3.2.7	Blendas utilizadas no experimento .....	60
4	RESULTADOS.....	61
4.1	Energia gerada pelo conjunto motor gerador .....	61
4.2	Consumo específico de combustível apresentado pelo conjunto motor gerador .....	62
4.3	Os efeitos da adição de biodiesel ao diesel nas emissões dos gases de exaustão do motor gerador.....	64
4.4	Eficiência energética .....	70
5	CONCLUSÕES.....	72
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	74
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
8	ANEXOS .....	91
8.1	Anexo A.....	91
8.2	Anexo B.....	92
8.3	Anexo C .....	93

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, o progresso na ciência e da tecnologia, migrando os processos de manuais para processos automatizados, mudou o estilo de vida dos seres humanos, o que, por sua vez, aumentou consideravelmente o consumo global de energia. A demanda por combustíveis fósseis cresceu de acordo com o progresso da humanidade, resultando em um esgotamento mais rápido das reservas convencionais de combustíveis com base fóssil. Além disso, o aumento do teor de gases com efeito de estufa na atmosfera devido à combustão de combustíveis fósseis levantou sérias preocupações para todo o ecossistema. Esses fatores levaram a uma busca mundial por combustíveis alternativos a partir de fontes renováveis, como a biomassa. Os combustíveis alternativos devem ser facilmente disponíveis, economicamente viáveis e ambientalmente aceitáveis.

O biodiesel é um dos combustíveis alternativos promissores para motores diesel que ganharam popularidade nas últimas décadas. É constituído, principalmente, por ésteres metílicos e etílicos de ácidos graxos (triglicerídeos), especialmente derivados de óleos vegetais comestíveis e não comestíveis e gorduras animais por meio do processo de transesterificação, no qual os triglicerídeos reagem com o álcool de cadeia curta na presença de um catalisador (YESILYURT; CESUR, 2020). O biodiesel pode ser produzido a partir de uma variedade de matérias-primas, tais como: canola, soja, girassol, mamona, entre outros (ALDHAIDHAWI; CHIRIAC; BADESCU, 2017; SAIFUDDIN; REFAL; KUMARAN, 2017). A utilização adequada dos combustíveis alternativos renováveis, substituindo os combustíveis fósseis, contribui para a proteção do clima, da água e do solo, ajudando ainda a redução das emissões de gases com efeito de estufa e proporcionando sustentabilidade, desenvolvimento regional e melhoria na agricultura (HASAN ; RAHMAN; KADIRGAMA, 2013). Em países em desenvolvimento, como o Brasil, a produção de biodiesel ainda se concentra principalmente em fontes de óleo, como o de soja, provenientes das regiões Centro-Oeste e região Sul (AMARAL; ABREU, 2014).

A canola (*Brassica napus* L. var. oleífera) é uma espécie oleaginosa da família Brassicaceae, sendo a segunda maior cultura oleaginosa produzida em todo o mundo. A colza inicialmente com alto teor de ácido erúico, foi desenvolvida por pesquisadores canadenses, onde identificaram uma semente de colza com baixo

teor de ácido erúxico (<2%) e a chamaram de canola (para significar óleo do Canadá ou óleo do Canadá com baixo teor de ácido) (ASSEFA et al., 2018). Dessa forma, este estudo propõe o óleo de canola como matéria-prima e utilizará o processo de transesterificação para a produção de biodiesel.

O biodiesel é um combustível renovável, biodegradável, não tóxico e com propriedades comparáveis às do diesel de origem mineral. Além disso, o biodiesel é mais vantajoso em comparação com o diesel devido ao seu ponto de inflamação mais elevado, menor volatilidade e maior lubrificidade (NOOR et al., 2016). O biodiesel ainda tem um teor de compostos aromáticos mais baixos, contém de 10 a 12% de oxigênio em peso e é livre de teor de enxofre. Devido à maior presença de oxigênio, é alcançado um maior grau de oxidação de hidrocarbonetos queimados na câmara do motor, que são gerados durante a combustão (AGARWAL et al., 2013). Isso leva a menores emissões de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não queimados (HC) e material particulado (MP) para combustível à base de biodiesel. No entanto, um maior teor de oxigênio no biodiesel produz emissões mais elevadas de óxido nitroso (NOx), o que constitui uma grande preocupação (RAHMAN et al., 2017). Outra desvantagem é a sua maior viscosidade (NAYAK; PATTANAIK, 2014; RADHA et al., 2011; NO, 2011a). A maior viscosidade do biodiesel leva a problemas de bombeamento, atomização deficiente, redução de fluxo do combustível, entupimento de injetores, obstrução de filtros, aumento de depósitos de carbono na cabeça do pistão, entre outros (NO, 2014; SUNDARARAJAN et al., 2016). Podem apresentar ainda menor volatilidade, poder calorífico, densidade de energia e maior consumo específico de combustível (SINGH; KUMAR; MUK, 2012).

Para contornar as variáveis indesejáveis, a mistura de diesel com biodiesel é a alternativa mais viável. Hasan et al. (2015) relataram que o combustível misturado com biodiesel apresenta menor torque e maior consumo específico do que o combustível diesel devido a valores caloríficos mais baixos contidos no biodiesel.

Estes e muitos outros trabalhos de pesquisa envolvendo biodiesel como combustível em motores de ignição por compressão relatam que a utilização de diesel e misturas de biodiesel num motor diesel resulta maior consumo específico e emissões de NOx e CO<sub>2</sub>, emissões de CO e HC mais baixas em comparação com o diesel. As maiores emissões de NOx provenientes da combustão de biodiesel é o principal obstáculo para a sua produção em escala comercial, que se deve, principalmente, ao seu maior teor de oxigênio. Por conseguinte, é necessário avaliar

um valor adequado de teor de oxigênio no biodiesel e combustíveis misturados de biodiesel, o que garantirá um desempenho comparável do motor, juntamente com parâmetros aceitáveis de emissões do motor (ALPTEKIN, 2017).

Para monitorar os parâmetros de consumo de combustível, temperatura dos gases de exaustão, temperatura de funcionamento dos equipamentos como motores à combustão e gerador elétrico, assim como outros parâmetros, é necessário utilizar equipamentos eletrônicos que tenham a capacidade de apresentar instantaneamente os dados coletados ou registrar as informações, armazenando em dispositivos com memórias, para que possam ser posteriormente analisados e corrigidos ou apresentados em gráficos de séries históricas.

O uso de biocombustíveis em sistemas de geração de energia normalmente não se emprega grandes sistemas de monitoração ou automação. Alguns trabalhos utilizam equipamentos com tecnologias modulares de hardware e software livres para medir, coletar e/ou registrar dados de um experimento com as plataformas chamadas de Arduino (LANJEKAR; DESHMUKH, 2018; TEOH et al., 2015; CHUMPITAZ et al., 2019), porém não existem métodos definidos de calibração dos sensores e dispositivos empregados nos processos envolvidos. Outra dificuldade é a falta de padrão dos equipamentos, normas regulamentadoras e imunidade a ruídos, dificultando saber a real qualidade da informação coletada em experimentos utilizando tais equipamentos.

Uma alternativa a essas questões é, portanto, o desenvolvimento de projetos de sistemas que utilizam equipamentos padronizados internacionalmente como: Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), recursos tecnológicos incorporados de interface homem-máquina (IHM), Unidade Remota de Entradas e Saídas (RTU), medidor multifuncional de parâmetros elétricos, Indicador de pesagem e protocolos de redes industriais. Sendo assim, por meio destes, é possível apresentar as informações em tempo real do processo em sistemas de geração de energia a fim de monitorar, apresentar, registrar e armazenar os parâmetros da planta de geração de energia, utilizando equipamentos de padrão industrial, garantindo a qualidade das informações coletadas durante o processo.



### **1.1 Objetivo Geral**

Avaliar o desempenho energético de um conjunto de motor gerador de energia com potência contínua de 7,5 kVA operando com diesel A-S10 e Blendas de 5, 10, 15, 20, 50 e 100% de biodiesel de canola.

### **1.2 Objetivos Específicos**

Avaliar a energia elétrica gerada com o diesel e com as blendas de biodiesel de canola;

Avaliar o consumo de diesel e das diferentes blendas de biodiesel de canola.

Avaliar a emissão de gases do conjunto motor gerador com diesel e com as blendas de biodiesel.

Avaliar a eficiência energética da conversão química dos combustíveis.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Sustentabilidade

Em busca de um mundo mais sustentável, a Organização das Nações Unidas – ONU, em 2012, reúne, em um documento, dezessete objetivos de desenvolvimento sustentável que devem ser aplicados no Brasil e no mundo. Entre os objetivos está o número sete, que faz referência à energia limpa e acessível, garantindo o acesso a fontes de energia confiáveis, sustentáveis e modernas para todos (ONU, 2021). Uma das ferramentas que possibilitam alcançar tal objetivo definido pela ONU em nosso país é o uso de combustíveis produzidos pelo uso da biomassa, como o etanol e o biodiesel, pois o Brasil já é considerado um dos países com maior consumo de biocombustíveis no mundo (EPE, 2018).

Combustíveis líquidos alternativos baseados em biomassa (biocombustíveis) têm recebido grande interesse devido aos atributos positivos, como emissões de gases de efeito estufa (GEE) de baixo ciclo de vida, matérias-primas renováveis e seus resíduos não tóxicos e biodegradáveis. Em particular, como um dos biocombustíveis mais produzidos e consumidos comercialmente, o biodiesel ganhou popularidade significativa em todo o mundo nas últimas duas décadas, pelas possibilidades de emprego de diferentes matérias-primas (MALODE et al., 2021).

Em geral, o ciclo de vida de um combustível de transporte específico envolve uma série de estágios que vão desde a produção da matéria-prima até o consumo (combustão do combustível) (LEE et al., 2009). As emissões de gases de efeito estufa (GEE) da fase de combustão dos biocombustíveis são compensadas pela fixação de CO<sub>2</sub> enquanto a biomassa cresce. No entanto, a fase de produção de biocombustíveis pode gerar emissões de GEE relativamente altas devido ao uso de combustíveis fósseis. Portanto, uma análise do ciclo de vida (LCA) dos fluxos ambientais e de energia de cada biocombustível é necessária para quantificar as vantagens do biocombustível sobre o diesel fóssil convencional. Além disso, a LCA serve como a principal ferramenta para avaliar a redução de GEE e outros impactos ambientais de cada sistema de combustível alternativo (REBOLLEDO-LEIVA et al., 2017).

A utilização da biomassa de óleos vegetais permite o estabelecimento de um ciclo de carbono de diversas formas, pois o CO<sub>2</sub> é absorvido pelas plantas para realização do processo de fotossíntese e, conseqüentemente, dando origem aos grãos, que por sua vez, armazenam óleo em seu interior. Com a extração e o

processamento adequado, o óleo pode ser transformado em energia, liberando o  $\text{CO}_2$  para a atmosfera, fazendo parte do ciclo novamente (SANTOS, 2018).

A Figura 1 apresenta o ciclo do carbono para diversas formas de utilização.

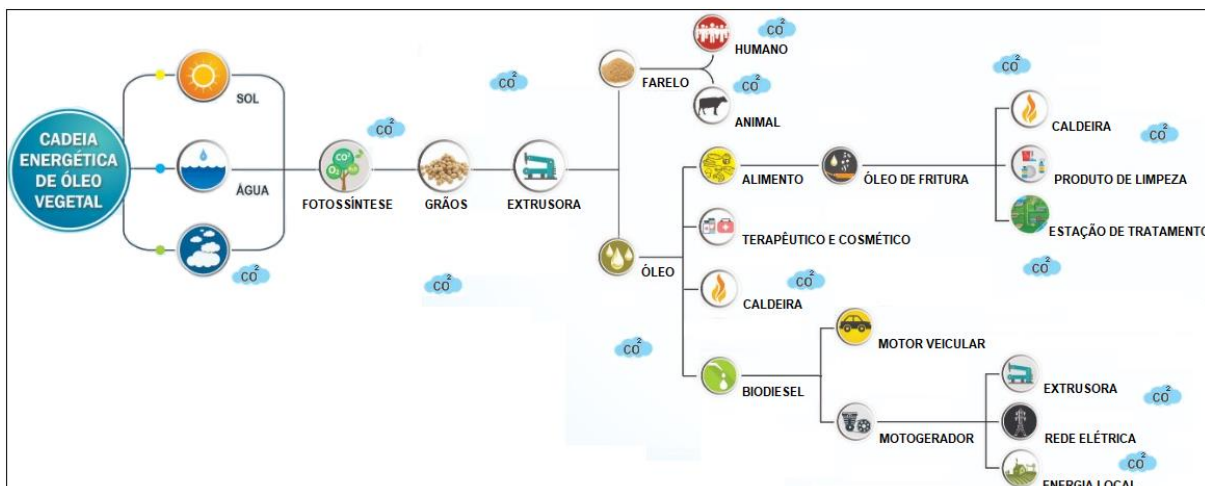


Figura 1. Ciclo do carbono.

Fonte: (SANTOS, 2018) adaptado pelo autor.

## 2.2 Uso dos combustíveis no Brasil e no mundo

A preocupante diminuição, ou mesmo a exaustão futura, de fontes energéticas não renováveis, como o petróleo, associada ao prejuízo ambiental decorrente de seu uso, têm contribuído para a adoção de novas fontes de energia. No Brasil, as iniciativas de processamento e comercialização de combustíveis alternativos iniciaram na década de 1970, por meio do Programa Nacional do Alcool (PROÁLCOOL), objetivando a redução da dependência dos combustíveis fósseis em veículos automotores, por meio do uso do etanol (RIBEIRO; SCHIRMER, 2017).

Os combustíveis de origem fóssil mais consumidos no Brasil são o óleo diesel e a gasolina. O etanol nacional, proveniente da cana-de-açúcar, e o biodiesel, produzido a partir de óleos vegetais ou gorduras animais, são os biocombustíveis alternativos mais consumidos em território brasileiro (ANP, 2013a).

Desde o início do século XIX, os combustíveis fósseis têm sido a principal fonte de energia em todo o planeta (SUBRAMANI et al., 2011). No entanto, as previsões apontam para o esgotamento das reservas de origem fóssil, e com as preocupações ambientais crescentes em todo o mundo, incentivos pela busca por outras fontes de energia de origem renovável e ecologicamente corretas fazem-se necessários. Assim, as fontes de energia que mais atraem o interesse dos pesquisadores atualmente são as de origem vegetal, como o etanol e o biodiesel

(BOBOESCU et al., 2016).

A matriz energética mundial tem participação de 80% de fontes de carbono fóssil. Já o Brasil possui uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo, com uma representação de 46,2% do consumo total em 2019 de energias renováveis, enquanto a média mundial era de apenas 14%, e de 9,7% para os países da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). A participação das energias renováveis na geração de eletricidade no país é ainda maior e responde por 83,3% do total, contra 24,0 e 23,8%, respectivamente, para o mundo e a OCDE (EPE, 2020).

Na Figura 2, podem ser observadas as informações da matriz energética brasileira, com a porcentagem representativa de cada uma das diferentes fontes de geração de energia.

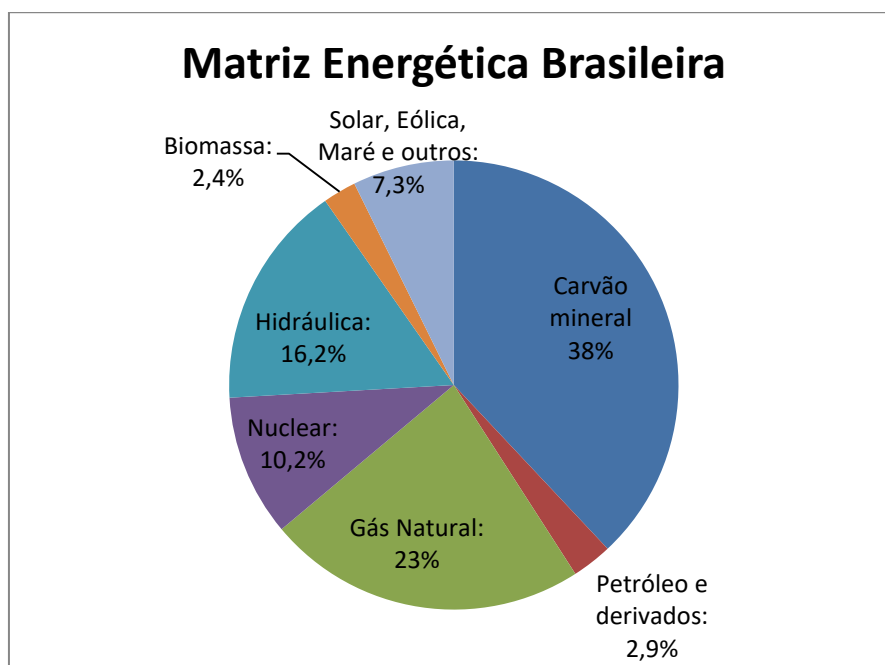


Figura 2. Matriz energética brasileira.  
Fonte: (EPE, 2020) adaptado pelo autor.

O óleo diesel extraído de reservas fósseis é amplamente utilizado no Brasil e no mundo, e a maioria das máquinas agrícolas em operação utilizam-se desse tipo de combustível como fonte de energia. O uso de óleos vegetais em motores diesel foi inicialmente cogitado pelo próprio inventor, Rudolph Diesel, no final do século XIX (DEMIRBAS; ALIDRISI, 2016), porém, o aumento da oferta de óleo durante a primeira metade do século XX criou uma situação que favoreceu o uso do diesel de

origem mineral. Com a crise do petróleo, desencadeada na década de 1970, o planeta iniciou o processo de busca por meios alternativos de geração de energia, entre os quais se destacam os combustíveis a partir de biomassa vegetal (BOTWINSKA et al., 2017).

### **2.3 Óleos vegetais para a produção de energia**

Normalmente, óleo vegetal puro ou bruto e óleo vegetal virgem são usados como sinônimos de óleo vegetal puro, podendo ser utilizados como matéria-prima para a produção de biodiesel (NO, 2011b). As plantas mais comuns usadas para extração de óleo são: soja, canola, palma, milho, girassol, amendoim, algodão, mamona e pinhão-manso (KAMANI et al., 2019); a extração do óleo pode ser feita por prensa mecânica ou por meio de solventes, dependendo da capacidade instalada das unidades de produção (ABOUBAKAR; GOUDOUM; YAYA, 2017).

O Brasil, por ter uma vasta biodiversidade, possui diversas oleaginosas com potencial para a produção de energia à base de óleos vegetais, como por exemplo, a canola, a soja, o girassol, o amendoim, o caroço de algodão e o dendê (OLIVEIRA; REYS, 2009).

No entanto, à medida que a produção de óleos destinados à produção de biocombustíveis aumenta em todo o mundo, também aumentaram as discussões se realmente as safras agrícolas deveriam ser destinadas para a produção de biocombustíveis ou para a produção de alimentos. Quando a produção de biocombustíveis compete com a de alimentos em termos de espaço, uma alternativa é utilizar culturas que completem o período nos quais as áreas ficariam subutilizadas entre safras, como durante o inverno. Como opção, pode-se utilizar a canola (colza), que é uma cultura relativamente conhecida e a tecnologia de cultivo se encontra amadurecida principalmente na região sul do país. Existem outras culturas menos conhecidas, como a linhaça e o crambe, que também são de inverno, e apresentam teor de óleo com grande potencial de produção, conforme a Tabela 1 (DELALIBERA, 2016).

Tabela 1. Teor de óleo dos grãos e rendimento médio dos óleos

Oleaginosa	Teor de óleo dos grãos (g kg <sup>-1</sup> )	Rendimento de óleo (L ha <sup>-1</sup> )
Canola	350 a 450	550 a 1.100
Crambe	260 a 441	260 a 660
Linhaça	400 a 440	330 a 370
Pinhão-manso	280 a 370	140 a 2.220

Fonte: Delalibera (2016)

Na Tabela 2 são observadas algumas características dos óleos vegetais em comparação com o diesel e o biodiesel.

Tabela 2. Características dos óleos vegetais comparadas com o diesel e o biodiesel

Características	Óleo de canola	Óleo de pinhão-manso	Óleo de soja	Diesel	Biodiesel
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	0,91 - 0,93	0,91 - 0,92	-	0,82 - 0,85	0,86 - 0,90
Viscosidade a 40°C (mm <sup>2</sup> s)	38	-	36,8	2 - 4,5	3,5 - 5,0
Facilidade de ignição (índice de cetanos)	40 - 42	51	36 - 39	51 - 56	50
Valor calorífico (kJ/kg)	35.000	39.500 - 41.700	39.950	41.400 - 43.500	36.200
Ponto de fulgor (°C)	220	110 - 240	-	50 - 80	120 - 135
Teor de fósforo (%)	12	-	5	-	-

Fonte: Guerra e Fuchs (2017)

## 2.4 Principais matérias-primas utilizadas para a produção de biodiesel

A produção mundial de óleo proveniente da agricultura é estimada em 152 milhões de toneladas e o Brasil é responsável por 8% desse montante (FAO, 2017). Entre as sementes oleaginosas com possibilidade de produção, apenas seis são responsáveis por 90% do óleo vegetal utilizado no mundo, por ordem de volume de produção de óleo são: dendê, soja, canola, girassol, amendoim e algodão. As plantas oleaginosas e os produtos químicos derivados delas são uma alternativa aos combustíveis derivados do petróleo (YESILYURT; CESUR, 2020). Existem muitos debates sobre as consequências do uso de biocombustíveis, no que diz respeito aos impactos no clima, à emissão de CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> (REIJNDERS, 2006). A análise da emissão de exaustão da combustão do biodiesel de canola quando comparada ao

diesel mostrou que o uso do biodiesel reduz as emissões de CO<sub>2</sub>, mas também aumenta as emissões de NOx (KRAHL et al., 2009).

A semente de crambe apresenta alto teor de óleo, de 23 a 38%, e uma característica particular no seu perfil de ácidos graxos, sendo rica em ácidos graxos monoinsaturados com valores aproximados de 75%, com alto teor de ácido erúico, em média de 57,8%, o que torna inadequado para consumo de seres humanos. Desta forma, o óleo de crambe é uma matéria-prima com grande potencial, não competindo na produção alimentar, tornando interessante para a produção de biodiesel (FALASCA et al., 2015). Na Tabela 3, é apresentada a produção de óleo vegetal no Brasil para algumas das sementes oleaginosas cultivadas.

Tabela 3. Produção de óleo vegetal no Brasil em 2015

<b>Óleo vegetal</b>	<b>Produção (toneladas)</b>
Soja	5.430.000
Algodão	242.000
Dendê	190.000
Milho	75.000
Girassol	33.700
Canola	30.000

FONTE: FAO (2017). Adaptado pelo autor.

Dezenas de espécies vegetais presentes no Brasil podem ser usadas na produção do biodiesel, dentre elas soja, dendê, girassol, babaçu, amendoim, mamona, entre outras (SALAMA; PINGUELLI; FIDELIS, 2011).

Muitas pesquisas exploraram uma variedade de matérias-primas para a produção de biodiesel, podendo ser produzidos a partir de matérias-primas baratas e prontamente disponíveis, como óleos de cozinha residuais, óleos vegetais, resíduos de animais e algas (KUSUMO et al., 2017).

A produção de biodiesel a partir de óleos de cozinha residuais é, de fato, uma das estratégias que podem ajudar a reduzir o impacto ambiental, uma vez que os óleos de cozinha residuais são reutilizados para criar um produto útil, ajudando a minimizar o descarte de óleos usados a ser lançado em aterros sanitários e a reduzir

os custos associados ao destino correto de resíduos (SEBAYANG et al., 2017).

## 2.5 Produção do biodiesel

O biodiesel é um biocombustível que pode ser produzido a partir da transesterificação de óleos vegetais (comestíveis ou não) e gordura animal, podendo ser utilizado em motores a diesel (motores de ignição por compressão) em mistura com o diesel de origem fóssil ou até em concentrações maiores podendo chegar a 100% de biodiesel (ALI et al., 2016).

As tecnologias industriais atuais para a produção de óleos vegetais incluem extração mecânica por prensagem hidráulica e por rosca e extração com solventes orgânicos. Destes métodos, a extração com solvente apresenta o maior rendimento, mas resulta em uma qualidade inferior do óleo em comparação com os métodos mecânicos. Enquanto, os métodos de prensagem produzem óleos de qualidade superior, mas rendimentos mais baixos (FOUAD et al., 2020; BHUIYA et al., 2020).

A extração mecânica pode ser aplicada de duas formas:

- Prensagem contínua: as sementes podem estar em temperatura ambiente (também chamada de extração a frio) ou considerando um pré-tratamento térmico (com cozimento). Podendo ser subdivididas em dois tipos de prensa contínua, as que operam como "prensagem final", na qual se obtém a torta com baixo teor de óleo; e as "pré-prensas", que retiram parcialmente o óleo, preparando a matéria-prima para a posterior extração por solvente (TRENTINI; OLIVEIRA; ZANETTE, 2016).

- Prensagem hidráulica ou descontínua: é utilizada no processamento de pequenas amostras ou testes de extração, normalmente empregada para processar sementes com alto teor de óleo, à temperatura ambiente (extração a frio), por não provocar aquecimento gerado pelo movimento do mecanismo devido ao atrito entre matéria-prima e equipamento (TRENTINI; OLIVEIRA; ZANETTE, 2016).

As tecnologias de produção do biodiesel podem se dividir em três categorias ou gerações principais, com base nas diferentes matérias-primas (RAHIMI et al., 2018):

- Biodiesel de primeira geração: produzido diretamente de culturas oleaginosas utilizadas na alimentação humana, e também de resíduos orgânicos.
- Biodiesel de segunda geração: desenvolvido para superar as limitações dos biocombustíveis de primeira geração. Produzido a partir de culturas não



alimentares, como madeira, resíduos de culturas alimentares e culturas de biomassas específicas.

- Terceira geração de biodiesel: baseada em melhorias na produção de biomassa. Proveniente de culturas energéticas especialmente projetadas, como as algas, como fonte de energia.

Existem várias abordagens diferentes quanto à definição de tais gerações, nas quais o biodiesel de segunda geração resulta da aplicação de matéria-prima alternativa, como óleos não comestíveis e resíduos, bem como tecnologias avançadas, como hidrotreatamento, gaseificação e síntese Fischer-Tropsch de biomassa lignocelulósica. O biodiesel de terceira geração resulta da aplicação de matérias-primas avançadas com produtividades muito maiores, como microalgas e cianobactérias (AHMAD et al., 2011).

As produtividades que podem ser alcançadas com o uso de matérias-primas de terceira geração podem, no futuro, possibilitar um impacto maior nas quantidades globais de produção de biodiesel. No entanto, a sua aplicação a curto prazo é limitada, devido aos elevados custos associados, tornando-se, neste momento, não economicamente viável.

Para a produção de combustível a partir de origens naturais, o maior custo está relacionado com a matéria-prima utilizada, pois quando utilizado produto com base alimentícia, existe uma competição, levando a um aumento do valor final (CARLSSON, 2009). Atualmente, os óleos alimentares, como o óleo de soja, respondem pela maior parte da produção. Há uma grande discussão a respeito do uso de óleos alimentares para a produção de biodiesel e, por isso, estudos estão sendo realizados com o objetivo de usar óleos não comestíveis, bem como subprodutos do refino de óleos vegetais, deslocando os interesses de pesquisa para a produção do chamado biodiesel de segunda e terceira geração (EL-HAMIDI; ZAHER, 2018).

O Brasil apresenta um consumo de diesel e biodiesel em seu último relatório divulgado em 2019, pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) de  $43,6 \times 10^6$  tep (tonelada equivalente de petróleo) de consumo de óleo diesel em toda a sua matriz energética. Em contrapartida, o consumo de biodiesel foi de  $4,3 \times 10^6$  tep. Historicamente, o país vem aumentando o uso de biodiesel em sua matriz energética desde 2005, quando a inserção de biodiesel no diesel tornou-se

obrigatória pela Lei 11.097/2005 (EPE, 2019).

Os dados históricos do consumo de diesel e biodiesel no país a partir da obrigatoriedade da inserção do biocombustível adicionado ao diesel de origem mineral podem ser observados na Figura 3.

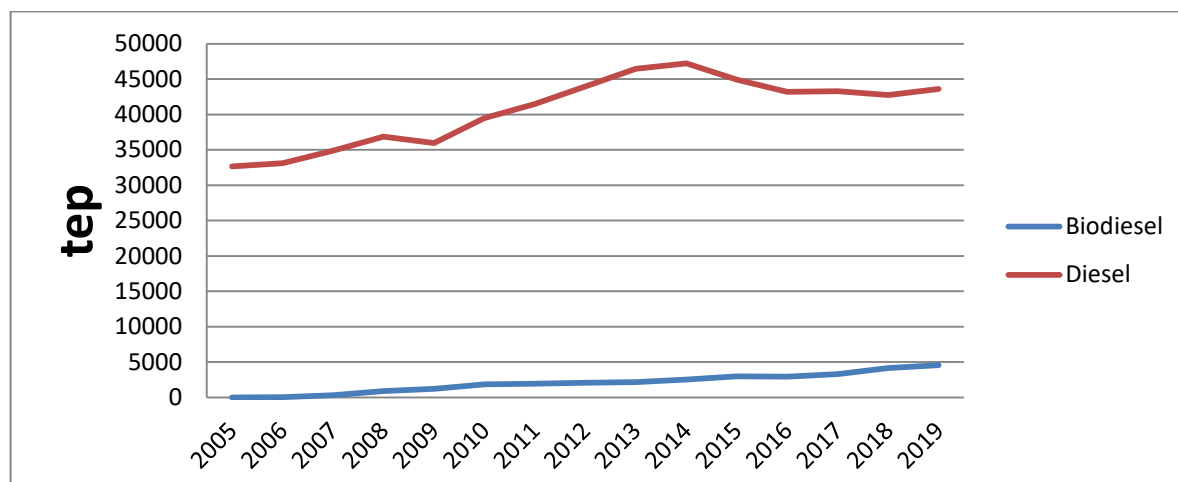


Figura 3. Consumo de combustível diesel e biodiesel.

Fonte: EPE (2019). Adaptado pelo autor

O biodiesel é uma mistura de ésteres monoalquílicos de ácidos graxos de cadeia longa que podem ser derivados de óleos vegetais, gorduras animais ou lipídios de algas (ZHANG et al., 2012). É uma alternativa importante aos combustíveis diesel à base de petróleo, ganhando sua popularidade devido à sua combustão limpa, à menor emissão líquida de CO<sub>2</sub>, por ser biodegradável, renovável e de natureza não tóxica (YESILYURT; CESUR, 2020). A qualidade do biodiesel é crucial para sua aplicabilidade em motores de ignição por compressão, sendo também um pré-requisito para aceitação no mercado. Muitos países estabeleceram padrões para garantir a qualidade do biodiesel; por exemplo, ASTM D6751 foi adotada nos Estados Unidos e EN 14214 foi adotada na Europa. De acordo com esses padrões, quase 30 parâmetros do biodiesel, incluindo densidade e viscosidade, devem ser monitorados para melhor desempenho e durabilidade do motor diesel alimentado por biodiesel (HUANG et al., 2010).

Para alterar as propriedades físicas do óleo vegetal, principalmente a viscosidade, foram desenvolvidos processos de produção que se aproximam das propriedades do combustível diesel mineral. Contexto em que algumas tecnologias convencionais como a esterificação e a transesterificação são utilizadas para a redução da viscosidade dos óleos ou das gorduras vegetais para a produção de

substitutos renováveis do diesel convencional (SILVA; CARDOSO; PASA, 2016).

As reações de transesterificação são aquelas em que se obtém um éster por meio de outro éster. Esse método é bastante viável, pois ocorre em apenas uma etapa, e se processa de modo rápido, via rota metílica, na presença de um catalisador, sendo simples, relativamente barato e realiza-se em pressão atmosférica (MURUGESAN et al., 2017).

A transesterificação para obtenção de biodiesel ocorre através da mistura de óleo vegetal insaturado ou gordura animal saturada com um álcool simples na presença de catalisadores, geralmente uma base homogênea, como NaOH ou KOH (SILVA; CARDOSO; PASA, 2016) resultando os produtos biodiesel e glicerina (Figura 4).

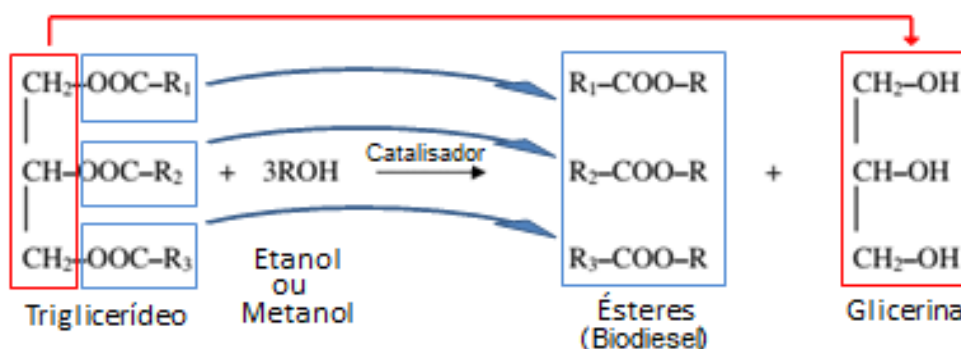


Figura 4. Processo de transesterificação do biodiesel.

Fonte: CHIONG et al. (2018). Adaptado pelo autor.

A viscosidade é uma propriedade física fundamental do combustível para garantir uma boa atomização e uma combustão completa em motores à compressão. A viscosidade dos óleos vegetais é muito superior à viscosidade do diesel mineral (DU et al., 2018). A viscosidade do óleo vegetal ou gordura animal pode variar significativamente dependendo de sua composição.

O álcool mais utilizado é o metanol, razão pela qual às vezes essa reação é chamada de metanólise. Além de mais barato, uma das grandes vantagens da utilização do metanol é que os produtos gerados durante o processo, como ésteres metílicos de ácidos graxos e glicerina, podem ser separados com muita facilidade (DASARI; BORUGADDA; GOUD, 2016).

O biodiesel produzido por metanólise apresenta propriedades muito semelhantes ao diesel fóssil, e na Figura 5, há um fluxograma do processo para a produção de biodiesel como produto principal, e glicerina como produto secundário e

inerente ao processo.

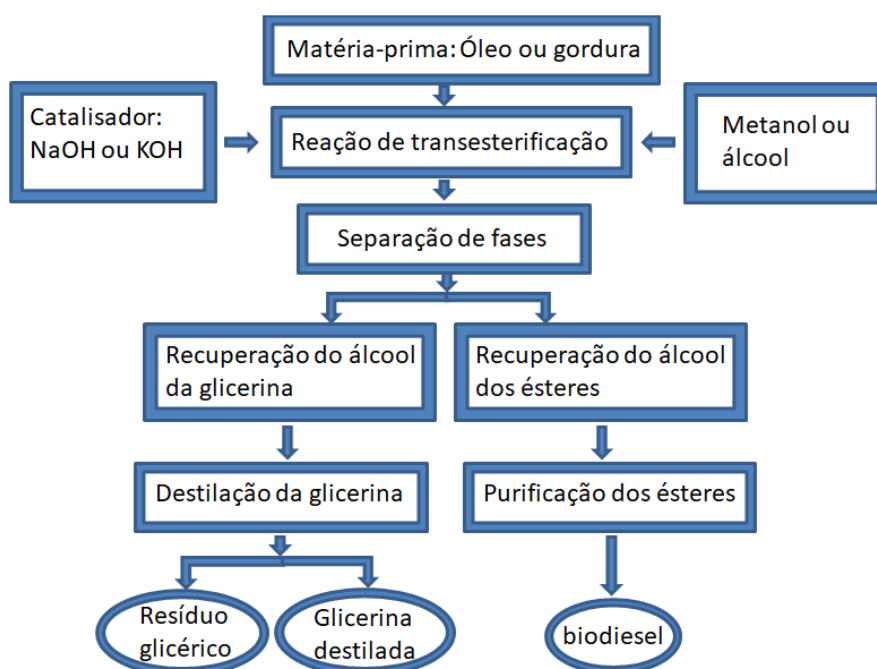


Figura 5. Processo de transesterificação.  
Fonte: DELALIBERA (2016)

## 2.6 Características do biodiesel para utilização em motores diesel

Independentemente do método utilizado, o produto final do biodiesel deve ter propriedades físico-químicas próximas às descritas na Tabela 4.

Tabela 4. Propriedades físico-químicas utilizadas como padrão de qualidade de combustível

Propriedades	Unidade	Limites	Normalização
Aparência (aspecto e cor)	-	-	ABNT/NBR 14483
Cinzas	%	0,02	ABNT/NBR 9842
Contaminantes	%	0,05	ABNT/NBR 14647
Corrosividade	-	1	ABNT/NBR 14359
Densidade a 20°C	kg m <sup>-3</sup>	820 - 865	ABNT/NBR 14065
Enxofre	%	0,20 - 0,35	ABNT/NBR 14533
Número de Cetano (NC)	-	42 - 48	ASTM/D 613
Poder Calorífico	kJ kg <sup>-1</sup>	> 36.006	E DIN 51 605
Ponto de fulgor	°C	> 38,0	ABNT/NBR 14598
Ponto de névoa	°C	4	ABNT/NBR 14747
Viscosidade a 40 °C	cSt\mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	2,5 - 5,5	ABNT/NBR10441

Fonte: DELALIBERA (2016)

O biodiesel possui inúmeras vantagens sobre o diesel. Estudos têm demonstrado que o biodiesel tem melhor desempenho lubrificante, exercendo um papel importante na redução do atrito entre os componentes do motor comparado ao diesel de origem mineral (LIU et al., 2019).

O desempenho da lubrificação do biodiesel é geralmente avaliado por meio de testes de atrito e do desgaste alternativo de alta frequência (DE FARIAS; DE MEDEIROS; ALVES, 2014). Outra investigação semelhante observou que os coeficientes de atrito do B5 (diesel misturado com 5% de biodiesel de colza) e do B100 foram 20% e 30% menores em relação ao diesel (LAPUERTA et al., 2016).

Além das vantagens, foram verificadas algumas desvantagens, assim como na investigação de biodiesel com origem de pinhão manso tem-se boas propriedades lubrificantes, ele também tem desvantagens significativas, como baixa estabilidade à oxidação. O biodiesel tem um alto teor de ésteres metílicos de ácidos graxos insaturados, o que o torna muito suscetível à oxidação (YANG et al., 2017).

Um resumo das principais vantagens, desvantagens e benefícios do biodiesel em comparação com o diesel de petróleo pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5. Principais vantagens e desvantagens do biodiesel em comparação com diesel de petróleo

Vantagens	Benefícios técnicos	Não tóxico Vapores não inflamáveis e não explosivos Maior lubricidade Menor ponto de fulgor que o diesel mineral Sintetizado a partir de óleos comestíveis e não comestíveis Melhor conteúdo de enxofre e aromáticos Manuseio e armazenamento mais seguros
	Benefícios ambientais	Ambientalmente correto Redução de CO <sub>2</sub> na atmosfera Redução dos níveis de enxofre na atmosfera Biodegradável Renovável
	Benefícios econômicos	Criação de emprego Evitar a migração urbana Disponibilidade de matéria-prima Segurança energética
Desvantagens		Menor conteúdo de energia Estabilidade inferior Criação de problemas de durabilidade do motor e corrosão Criação de deposição de carbono e polimerização no motor

FONTE: KAMANI et al. (2019). Adaptado pelo autor.

## 2.7 Blendas de biodiesel

O biodiesel pode ser utilizado na sua forma pura ou misturado com diesel mineral convencional, tendo havido a necessidade de adaptar uma nomenclatura para identificar a proporção dos dois componentes na mistura. Assim, designou-se “Biodiesel BXX”, onde “XX” corresponde à percentagem em volume do biodiesel na mistura. Por exemplo, o B2, B5, B20 e B100 são combustíveis com uma concentração de 2%, 5%, 20% e 100% de biodiesel em volume, respectivamente. As características para produção do biodiesel são definidas pela Resolução nº45 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2014). Esta Resolução impõe limites para diversos parâmetros físicos e químicos e define quais as normas de ensaio a serem utilizadas para a avaliação desses parâmetros.

No Brasil, os estudos para a criação de uma política nacional para a implantação do biodiesel iniciaram em 2003 pela Comissão Executiva Interministerial do Biodiesel (CEIB). O governo federal lançou em 2004 o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) com o objetivo de introduzir o biodiesel na matriz energética brasileira. Inicialmente, a mistura em caráter experimental entre os anos de 2005 e 2007 tinha o teor de 2% de biodiesel adicionado ao diesel de origem fóssil. Em janeiro de 2008 entrou em vigor a obrigatoriedade da mistura de 2% (B2) em todo o território brasileiro, pela Lei nº 11.097/2005. Esse percentual foi ampliado para 3% (B3) em julho de 2008, 4% (B4) em julho de 2009, 5% (B5) em janeiro de 2010, 6% (B6) em agosto de 2014, 7% (B7) em novembro de 2014, 8% (B8) em março de 2017, 10% (B10) em março de 2018, 11% (B11) em março de 2019 e 12% (B12) em março de 2020. Em oito de outubro de 2018 entrou em vigência a Resolução nº 16/2018 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), autorizando a ANP a fixar o percentual de adição de até 15% em volume de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, sendo obrigatório o incremento de 12% (B12) em 01/03/2020, 13% (B13) em 01/03/2021, 14% (B14) em 01/03/2022 e 15% (B15) em 01/03/2023 (ANP, 2020). A evolução das misturas de biodiesel pode ser observada na Tabela 6.

Tabela 6. Evolução prevista de mistura de biodiesel

<b>Data de início</b>	<b>Mistura obrigatória (%)</b>	<b>Mistura comercial</b>
2003	Facultativo	B2
JAN/08	2	B2
JUL/08	3	B3
JUL/09	4	B4
JAN/10	5	B5
AGO/14	6	B6
NOV/14	7	B7
MAR/17	8	B8
MAR/18	10	B10
MAR/19	11	B11
MAR/20	12	B12
MAR/21	13	B13
MAR/22	14	B14
MAR/23	15	B15

Fonte: (ANP, 2020).

Na data atual deste trabalho, foi determinada a redução do valor atual de B13 para B10 por meio da Resolução nº 4, em nove de abril de 2021 pelo Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2021).

De acordo com pesquisas realizadas por Demirbas (2009) e Ali et al. (2016), misturas de até 20% de biodiesel misturadas com combustível diesel de petróleo podem ser usadas em quase todos os equipamentos a diesel e são compatíveis com a maioria dos equipamentos de armazenamento e distribuição.

## **2.8 Análise do desempenho de motores a biodiesel**

Os motores de combustão interna, em especial os motores a diesel, são preferíveis para geração de energia, a partir de combustíveis alternativos devido à sua robustez, alta eficiência, baixo custo inicial, fácil manutenção e operação (HESSAMI; CAMPBELL; SANGUINETTI, 2011). Esses motores são responsáveis pelas emissões de gás carbônico (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NOx), monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos aromáticos. Ainda, a combustão do diesel libera material particulado (MP) na forma de aerossol, que contribui diretamente na formação do efeito estufa (KALARGARIS; TIAN; GU, 2017).

O uso de motores a diesel na agricultura, no transporte e na geração de

energia causa aumento de poluentes, que são prejudiciais aos animais, aos seres humanos e ao meio ambiente (THANGARAJ; SOLOMON, 2020). Assim, conforme relatado e enfatizado em inúmeras pesquisas, combustíveis alternativos precisam ser usados para controlar e reduzir essas emissões.

O efeito do biodiesel nas emissões geralmente não é claro devido a vários fatores, incluindo: fonte do diesel, origem do biodiesel e parâmetros do motor. De maneira geral, a maioria dos estudos mostra um aumento de NOx com o conteúdo de biodiesel e uma redução nas emissões de CO, HC e partículas (PM). O consumo de combustível e as emissões de NOx tendem a aumentar com o aumento da fração de biodiesel, o que pode ser atribuído ao menor conteúdo de energia do biodiesel em comparação com o diesel e ao aumento do conteúdo de oxigênio e, portanto, temperaturas de chamas mais altas no interior do cilindro do motor (ALDHAIHAWI et al., 2016; PAUL; PANUA; DEBROY, 2017). Em condições de baixa carga e alta fração de biodiesel, o CO pode aumentar em relação ao diesel, embora o aumento seja pequeno em comparação à redução observada em todas as cargas do motor (GHAREHGHANI; MIRSALEM; HOSSEINI, 2017). No entanto, a fonte de biodiesel tem efeitos significativos nas emissões. Como visto em pesquisas específicas na literatura, aumentando as emissões de CO em altas cargas, aumenta-se também o NOx.

Algumas investigações misturando biodiesel ou diesel-biodiesel com metanol e etanol evidenciam resultados semelhantes. O emprego do metanol misturado ao biodiesel apresentou ser mais eficiente no controle de material particulado (MP) e óxido nítrico (NOx), do que o etanol (YILMAZ; DAVIS, 2016; RAJESH et al., 2018). Por outro lado, misturas de diesel ou biodiesel com metanol ou etanol causam um aumento nas emissões de hidrocarbonetos (HC) para misturas maiores que 5% em volume de álcool (YILMAZ; DAVIS, 2016).

Outra investigação que misturou de 10 a 20% de biodiesel no diesel mostrou um aumento no consumo específico do motor e, conseqüentemente, apresentou uma redução na eficiência térmica. As emissões de hidrocarbonetos (HC) e de monóxido de carbono (CO) diminuíram com o aumento da fração de biodiesel, enquanto as emissões de CO<sub>2</sub> e NOx aumentaram (RUHUL et al., 2016).



## 2.9 Emissões e desempenho de motores a biodiesel

Embora os motores a diesel sejam atraentes devido à sua alta eficiência térmica e potencial, buscam-se formas de reduzir emissões provocadas pelos gases de exaustão dos motores a diesel, como exemplo, minimizar as emissões de gases CO, CO<sub>2</sub> e HC, óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e material particulado (também conhecido como fuligem), os quais prejudicam a qualidade do ar ambiente e a saúde dos seres vivos. As principais tecnologias para mitigar as emissões provocadas durante o acionamento de motores a diesel têm duas vertentes: melhorar a eficiência da combustão do motor e desenvolver dispositivos de pós-tratamento (ABDULLAH, 2018).

Algumas das alterações no desempenho do motor e nos parâmetros de emissão de escapamento de motores a diesel alimentados por biodiesel e diferentes misturas de biodiesel em relação ao diesel são observadas na Tabela 7. Deve-se notar que os resultados apresentados nesta tabela se referem a biodieseis produzidos a partir de uma única matéria-prima.

Tabela 7. Principais emissões do biodiesel

Matéria-prima	Óleo de palma bruto (%)			Óleo de canola (%)	Óleo de soja (%)	Óleo de pinhão manso (%)
	25	50	75	100	100	10
Volume percentual de biodiesel misturado ao diesel (amostra)						
<b>Desempenho do motor</b>						
Consumo específico de combustível	+0,08	+ 9,0	+ 10,0	+ 13,2	+ 21,5	+ 3,4
<b>Emissões de exaustão</b>						
CO (monóxido de carbono)	+ 82,6	- 1,7	- 17,4	- 22,2	- 44,4	- 14,0
NO <sub>x</sub> (óxido nitroso)	- 1,8	- 5,4	- 7,3	+ 12,0	+ 28,0	+ 7,0
Referências	Yusaf, Yousif e Elawad (2011)			Celikten, Koca e Arslan (2010)	Celikten, Koca e Arslan (2010)	Hassan et al. (2014)

A opacidade da fumaça é um indicador de emissão de fuligem seca e material particulado. Nos motores a diesel, o combustível atomizado se divide em

carbono (formação de fuligem) durante o processo de combustão, e o carbono então se oxida na zona de reação (oxidação de fuligem). Partículas de carbono, ou seja, fuligem ou fumaça, irão se formar se a quantidade de oxigênio ou a temperatura local não suportar o processo de oxidação (ATTIA; HASSANEEN, 2016).

A mistura de biodiesel com óleo diesel reduz a opacidade da fumaça, que se deve à maior quantidade de moléculas de oxigênio presentes no biodiesel, e isso melhora a combustão. A diminuição da opacidade da fumaça com a adição de biodiesel também se deve à redução de compostos aromáticos na mistura, que são precursores da fuligem (KAKATI; GOGOI, 2016).

Em investigação das características de desempenho e da emissão de escapamento de um motor diesel monocilíndrico de injeção direta movido a três tipos de matéria-prima disponíveis na região da Índia (polonga, koroch e *Pinhão-manso*) com misturas de biodiesel e diesel de petróleo em cinco proporções diferentes de biodiesel (10, 20, 30, 40 e 50%), as propriedades físico-químicas dos combustíveis foram determinadas, e os resultados indicaram que viscosidade cinemática, densidade e ponto de fulgor crescem com um aumento no conteúdo de biodiesel da mistura, enquanto o valor calorífico e o ponto de fluidez diminuem. As propriedades físico-químicas da mistura B10 (contendo 10% de biodiesel) são semelhantes às do combustível diesel (DHARMA et al., 2017).

Em investigação realizada por Sanjid et al. (2016), os resultados mostraram que o consumo específico foi de 320, 350 e 370 g/kW<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> quando o teor de biodiesel foi de 10, 20 e 40%, respectivamente. Em contraste, o consumo específico para óleo diesel foi de 310 g/kW<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>. Em geral, o consumo específico para biodiesel é maior do que para o óleo diesel de origem mineral.

O consumo de combustível aumenta na proporção do aumento do teor de biodiesel das misturas de biodiesel com diesel. No entanto, há uma diminuição do valor calorífico do biodiesel durante a combustão devido ao alto número de cetano contido nos combustíveis de origem vegetal (BUYUKKAYA, 2010).

Segundo a investigação realizada por Dharma et al. (2017), o torque encontrado no motor foi mais alto para o combustível diesel, com um valor de 34,15 Nm a uma rotação nominal de 1900 rpm. O torque do motor para a mistura de 10% de biodiesel adicionado ao diesel mineral B10 foi de 34,07 Nm, sendo próximo ao do diesel mineral, mantendo a mesma rotação do motor. Nessa mesma velocidade de 1900 rpm, o torque do motor para as misturas de B20, B30, B40 e B50 foi menor do

que o torque do motor para o combustível diesel mineral em 2,23; 4,07; 6,30 e 7,41%, respectivamente.

O biodiesel possui maior viscosidade, menor volatilidade e moléculas mais pesadas, conseqüentemente, as misturas de biodiesel com combustível diesel evaporam a uma taxa mais lenta e são mais difíceis de queimar em comparação com o combustível diesel, reduzindo a quantidade de combustível que está sendo alimentado na bomba de óleo e a eficiência volumétrica do motor permanece baixa, diminuindo o torque do motor (BARI, 2014).

A qualidade de ignição do diesel pode ser medida pelo seu número de cetano (NC), que corresponde ao tempo decorrido entre o início da injeção e o início da combustão, sendo chamado de atraso de ignição. Esse atraso é consequência do tempo requerido para que ocorra pulverização, aquecimento e evaporação do combustível com a sua mistura com o ar e, finalmente, sua autoignição. O índice de cetano (CN) mede o atraso e dependendo da fonte e do processo de produção do biodiesel, o índice de cetano do biodiesel pode ser maior ou menor que o do diesel fóssil. O biodiesel produzido a partir de soja apresentou menor atraso de ignição de 7,9° e 7,8°, respectivamente, em comparação com 8,2° do diesel com baixo teor de enxofre, devido ao maior número de cetano. Como resultado de um atraso de ignição mais curto, o biodiesel acendeu mais cedo e, conseqüentemente, a energia liberada durante a fase pré-misturada foi menor, resultando em menor taxa de liberação de calor do que o diesel (CANAKCI, 2007).

Em investigação experimental sobre os efeitos combinados da razão de compressão, pressão de abertura do bico e tempo de injeção no desempenho e nas emissões de HC (hidrocarbonetos não queimados) de um motor a diesel (ignição por compressão) operado com um combustível diesel, apresentou-se reduções das emissões de HC para todos os combustíveis com incremento das cargas do motor devido ao aumento da combustão (WAMANKAR; SATAPATHY; MURUGAN, 2015).

Misturas chamadas de ternárias com diesel-butanol-óleo vegetal (óleo de algodão) mostraram que quando a carga aumenta, a temperatura do cilindro aumenta também; assim, melhora o processo de combustão e leva a menores emissões de CO. Nesta pesquisa foram encontrados valores de emissões de CO menores para os combustíveis testados em todas as cargas do motor, em comparação com o diesel puro (ATMANLI; ILERI; YILMAZ, 2016).

Em investigação de um motor diesel de injeção direta de 33 kW,

abastecido com diferentes combustíveis: diesel, biodiesel, óleo de linhaça, óleo de milho, óleo de soja, óleo de amendoim, óleo de girassol e óleo de palma. Para este motor quando aplicadas a diferentes cargas os resultados apontam que, ao aumentar a carga, o consumo específico de combustível tende à diminuição, enquanto as emissões de CO reduzem e as emissões de NOx aumentam. Todos os combustíveis apresentam um consumo superior ao diesel mineral, devido ao menor poder calorífico. As emissões de CO para o biodiesel diminuem com o aumento da carga aplicada ao motor, com uma inclinação menor do que a do diesel, portanto são menores nas cargas mais baixas e maiores nas cargas mais altas. As emissões de NOx do biodiesel são sempre de 15 a 20% mais altas do que o diesel mineral (ALESSANDRO et al., 2016).

Segundo informações publicadas por Simsek (2020), um motor gerador a diesel de injeção direta aspirado naturalmente, resfriado à ar, monocilíndrico, quatro tempos, com uma velocidade fixa de 3000 rpm, com capacidade de geração em corrente alternada de 3,36 kVA, tipo monofásico de 230 V e frequência de 50 Hz foi usado para o experimento. Para as misturas volumétricas de diesel e biodiesel, cujas proporções de biodiesel foram incrementadas no diesel em 10, 20, 30, 50, 75 e 100%, o consumo específico deste experimento aumentou em 3,79; 6,47; 9,27; 12,89; 15,55 e 19,80%, respectivamente, em comparação com diesel de origem mineral. As emissões de CO aumentaram em 13,30; 18,23; 21,33; 25,68; 30,77 e 34,28%, para as cargas resistivas aplicadas ao gerador de 500, 1000, 1500, 2000, 2500 e 3000 W, respectivamente.

## **2.10 Princípios de operação de grupo gerador**

Grupo Motor Gerador (GMG) é o nome ou denominação genérica que se dá a um conjunto formado por um motor de combustão interna acoplado a um gerador de energia elétrica. O motor de combustão interna converte a energia química do combustível em energia mecânica; o gerador recebe a energia mecânica e a transforma em energia elétrica (CREDER, 2016).

Os motores geradores podem ser utilizados em áreas rurais usando biodiesel proveniente de matéria-prima existente no local, podendo ser de origem vegetal ou resíduos animais. Existem sistemas como estes de geração em pequena escala em propriedades rurais instalados em diversos locais para geração de

energia para o atendimento de pequenas cargas, ou ainda, onde a instalação da rede ficaria inviável financeiramente devido à distância entre o ponto de consumo e a rede da concessionária local (COLLE, 2018).

As possibilidades de geração de eletricidade de forma descentralizada através de fontes renováveis (biodiesel) são vastas. Entretanto, somente após a publicação da Resolução Normativa nº 482/2012 e 687/2015 foi possível utilizar o sistema de compensação de energia, o que difundiu a microgeração e a minigeração por meio de sua regulamentação (ANEEL, 2015).

### 2.11 Alternadores

Segundo Gussow (2009), as máquinas elétricas rotativas operando como geradores de corrente alternada são chamados de alternadores, em que uma grande parte da energia elétrica consumida em ambiente residencial, comercial e industrial provém de alternadores instalados nas usinas geradoras de eletricidade.

Para Creder (2016), um gerador de corrente alternada elementar é formado por um conjunto magnético de ímãs e um sistema de bobinas rotativas imersas no campo magnético produzido por estes ímãs, desse modo, a corrente alternada pode ser entendida pela lei da indução de Faraday, a qual afirma que a variação do fluxo de campo magnético ( $\varphi$ ) através de uma bobina com  $N$  espiras induz uma diferença de potencial ( $v$ ) entre suas extremidades, e que pode ser descrita pela equação (1):

$$v(t) = -N \frac{d\varphi(t)}{dt} \quad (1)$$

O princípio de funcionamento de sistemas de geração de energia monofásicos é semelhante ao sistema trifásico, diferenciando somente o arranjo e a disposição das bobinas entre o estator (parte fixa da máquina) e o rotor (parte girante da máquina). Em sistemas trifásicos, o arranjo do gerador é formado por três bobinas que produzem a mesma amplitude e frequência, porém defasadas entre si por  $120^\circ$  elétricos (AZEVEDO et al., 2017). Dessa forma, são produzidas três tensões, denominadas:  $V_A$ ,  $V_B$ ,  $V_C$  (Equações 2, 3 e 4, respectivamente).

$$V_A(t) = \cos(\omega t) \quad (2)$$

$$V_B(t) = \cos(\omega t + 120^\circ) \quad (3)$$

$$V_C(t) = \cos(\omega t + 240^\circ) \quad (4)$$

## 2.12 Cargas trifásicas

Segundo Creder (2016), nos circuitos trifásicos, tanto para geradores como para motores ou cargas, existem dois tipos principais de ligação, ditas como ligação triângulo ou ligação estrela. A forma de ligação triângulo também pode ser chamada de delta e, neste tipo de ligação, as associações dos enrolamentos podem ser observadas na Figura 6.

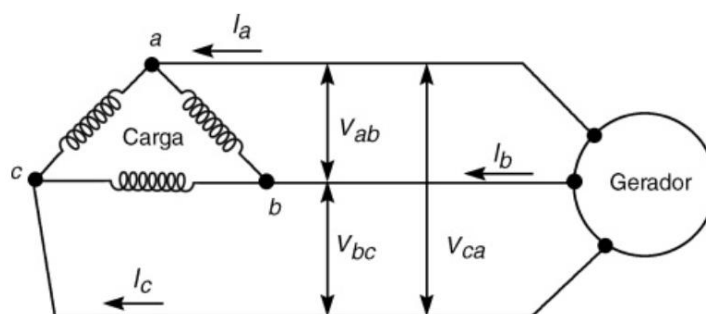


Figura 6. Sistema trifásico

## 2.13 Indústria 4.0

O termo Indústria 4.0 refere-se à Quarta Revolução Industrial e tem como um dos pontos de estudo a digitalização para o monitoramento contínuo e para a tomada de decisão rápida, além da forte interação entre máquinas e humanos. Destaca-se pela evolução na comunicação entre sistemas e equipamentos, disponibilizando informações úteis para o gerenciamento e o aperfeiçoamento dos sistemas de produção (MÜLLER; BULIGA; VOIGT, 2018).

A necessidade de aumentar a produtividade tem levado o mundo industrial a passar por várias revoluções. Esses avanços apontaram quatro revoluções industriais ao longo da história. A Primeira Revolução Industrial foi marcada pelo aperfeiçoamento da máquina a vapor, entre 1760 e 1840; a segunda foi definida pela utilização da eletricidade em processos industriais no final do século XIX; a terceira revolução começou na década de 1960 com o uso das TICs e da automação industrial. E, por fim, a Quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, surgiu de vários países desenvolvidos e consolidou-se em uma iniciativa público-privada alemã para

construir fábricas inteligentes por meio da integração de objetos físicos com tecnologias digitais (DALENOGARE et al., 2018).

## **2.14 Controlador lógico programável**

Antes dos anos da década de 1970, o acionamento das máquinas de uma indústria era realizado por sistemas de controle a relés, que apresentavam muitas dificuldades de atualização, reprogramação e custo elevado. Foi então, na década seguinte, por necessidade da indústria automobilística, que se iniciou o desenvolvimento do equipamento que hoje é chamado de controlador lógico programável (CLP), que substituiu os antigos sistemas a relés e, ao longo dos anos, foi adquirindo novas funcionalidades, atualmente possuindo forte presença nas linhas de produção de pequenas até grandes indústrias. A utilização de CLPs para a automação de processos permite aos técnicos e engenheiros a verificação do funcionamento e a correção rápida das falhas, mesmo ainda em fase de projeto, contribuindo para a diminuição dos custos de implantação, manutenção e operação (PETRUZELLA, 2014).

O controlador lógico programável (CLP), como normalmente é chamado no ambiente industrial, pode ser definido como dispositivo eletrônico de controle capaz de armazenar instruções para executar funções dentro de um processo. Normalmente, o CLP trata de instruções como: leitura de sensores, contagem, temporização, operações lógicas e aritméticas, manipulação de dados e comunicação em redes industriais e acionamento de dispositivos de saídas (BOLTON, 2006)

Os principais componentes de um CLP podem ser observados na Figura 7 e são descritos conforme Bolton (2006):

- A CPU (Unidade Central de Processamento) é a unidade que contém o microprocessador e interpreta os sinais de entrada e realiza as ações de controle, de acordo com o programa armazenado em sua memória, comunicando as decisões como sinais de ação às saídas correspondentes.
- A fonte de alimentação é necessária para converter a corrente elétrica vinda da rede de energia local em formato de corrente alternada (AC), retificando e convertendo em corrente contínua (DC) para níveis de tensões apropriadas (5, 12 e 24 V) para alimentar os circuitos de processamento, memórias e módulos de

interfaces de entradas e saídas.

- As unidades de memórias são onde o programa é armazenado, sendo usadas para as ações de controle a serem exercidas pelo microprocessador durante a execução do programa desenvolvido pelo programador do CLP.
- As seções de entradas e de saídas (E/S) são onde o processador recebe informações de dispositivos externos e comunica-as a outros dispositivos externos através de comandos vindos do processador do CLP. As entradas recebem todos os sinais provenientes de sensores, botoeiras e chaves, para conhecimento do estado do processo. Já as saídas são os meios de ligações físicas entre o CLP e o processo a ser controlado, através do acionamento de dispositivos como: relés, contadores, válvulas, solenoides, motores, lâmpadas e outros.
- O dispositivo de programação (computador convencional) não faz parte do CLP, mas é usado para inserir o programa necessário na memória do processador. O programa é desenvolvido no dispositivo e depois transferido para a unidade de memória do CLP.

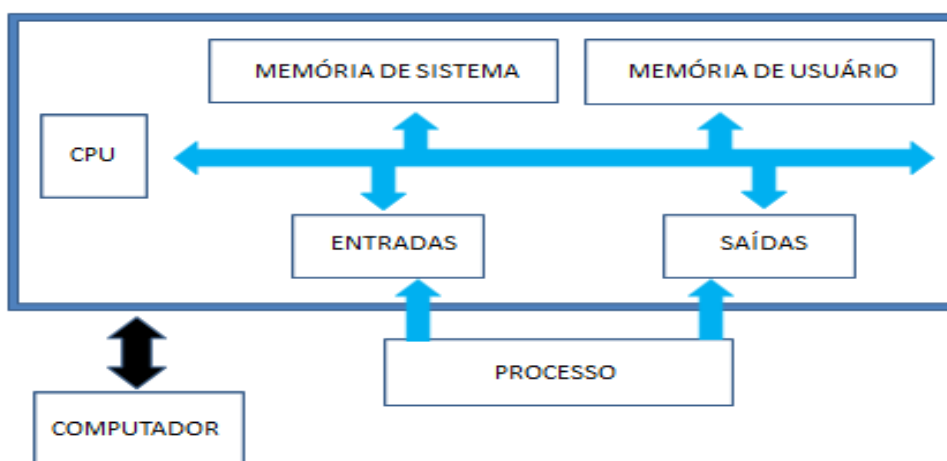


Figura 7. Principais componentes do CLP.  
Fonte: Bolton (2006) adaptado pelo autor.

Existem basicamente dois tipos de controladores lógicos programáveis: os módulos fixos e os modulares.

Os módulos fixos são típicos dos modelos de CLPs de menor porte e são incorporados ao equipamento sem separação, sem unidades removíveis. Todos os componentes em um único compartimento, contendo o processador, as memórias, as entradas e as saídas. Neste modelo, o número de entradas e de saídas será fixo,



impossibilitando expandir a configuração das E/S. A vantagem principal desse tipo de equipamento é o baixo custo. Já a desvantagem é se uma parte do equipamento apresentar um defeito, pois será necessária a substituição da unidade inteira (PETRUZELLA, 2014).

A Figura 8 apresenta o aspecto de um Controlador Lógico Programável de modelo fixo.



Figura 8. Módulo de controlador lógico programável – CLP  
Fonte: (WEG, 2010)

Os modelos de CLPs com módulos fixos são divididos por compartimentos chamados de módulos, que podem ser conectados separadamente, o que aumenta de maneira significativa as opções e a flexibilidade da unidade, sendo possível trocar os módulos disponibilizados pelo fabricante e combinar conforme a necessidade de cada projeto. O CLP modular é composto de um rack (gabinete onde serão conectados os demais itens), uma fonte de alimentação, módulo de processamento (CPU), módulos de entrada/saída (E/S) e uma interface de operação para programação e monitoração. Os módulos são inseridos no rack e estabelecem uma conexão com um barramento, conectando-se com os demais componentes do CLP (PETRUZELLA, 2014).

A Figura 9 apresenta o aspecto de um controlador lógico programável

modular, com seus principais componentes.

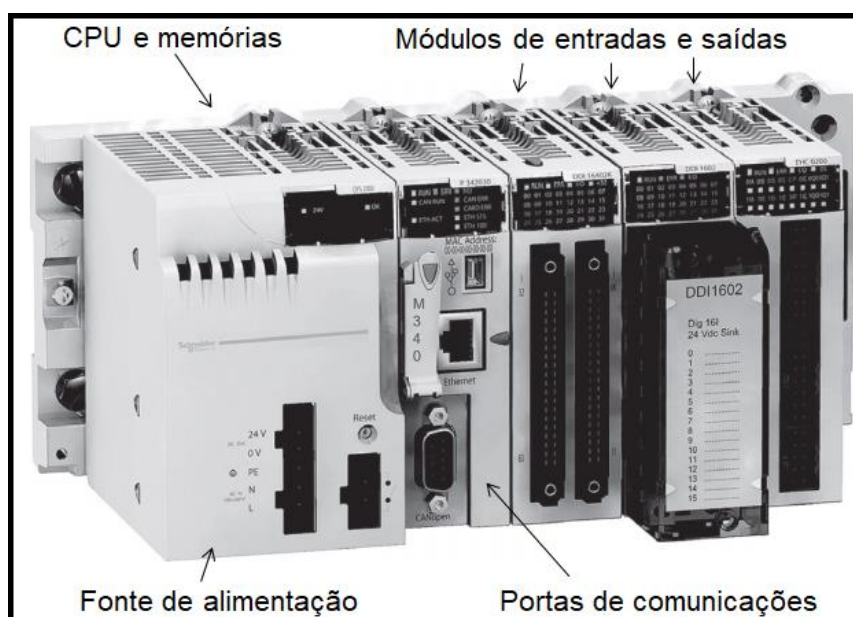


Figura 9. Controlador lógico programável.  
Fonte: Petruzella (2014) adaptado pelo autor.

Os CLPs têm a grande vantagem de que o mesmo equipamento pode ser usado para vários sistemas de controle. Para atualizar um sistema de controle armazenado na memória, basta que o operador digite um conjunto diferente de instruções, não havendo necessidade de religar entradas e saídas, resultando em um sistema flexível e econômico, empregado nos mais variados níveis de complexidade (PETRUZELLA, 2014).

Os CLPs possuem uma arquitetura semelhante aos computadores, mas enquanto os computadores são otimizados para tarefas de cálculo e exibição, os CLPs são otimizados para tarefas de controle e para o ambiente industrial, suportando ambientes com vibrações, variação de temperaturas, variação de umidade, presença de ruído e interferência eletromagnética (BOLTON, 2006).

### 2.14.1 Linguagens de programação de CLPs

A norma IEC 61131-3 especifica a sintaxe e a semântica de um conjunto unificado de linguagens de programação para o Controlador Lógico Programável. As linguagens em conformidade com a norma são: lista de instruções (Instruction List, IL); texto estruturado (Structured Text, ST); diagrama de blocos funcionais (Function Block Diagram, FBD); diagrama Ladder (Ladder Diagram, LD); e sequencial gráfico

de função ou Grafcet (Sequential Function Chart, SFC) (BOLTON, 2006).

Dessas linguagens, duas são textuais, ou seja, a programação é desenvolvida por mnemônicos que são: lista de instruções (instruction list) e texto estruturado (structured text). As outras três são do tipo gráficas, ou seja, durante o processo de programação, elementos gráficos são selecionados e arrastados pelo desenvolvedor do programa, sendo elas: diagrama Ladder (Ladder Diagram, LD) e diagrama bloco funcional (function block diagram), e sequencial gráfico de função também chamado de Grafcet (Sequential Function Chart, SFC) (PETRUZELLA, 2014).

## **2.15 Interface IHM**

Uma interface homem-máquina é um pequeno computador dotado de interface acessível, que permite ao usuário monitorar e controlar o processo por um programa instalado em sua memória comunicando em tempo real com o CLP, substituindo botões de comando, chaves seletoras, sinalizações e outros dispositivos disponíveis na tela sensível ao toque, que podem ser manuseados ou configurados pelo operador ou gerenciador responsável pelo funcionamento do sistema. A programação desta interface é normalmente realizada por computador pessoal, criando telas personalizadas, que possibilitam a representação gráfica do processo e podem ser disponibilizadas aos operadores no chão de fábrica para interagir com o sistema. Ainda, os CLPs e IHMs podem ser integrados no mesmo equipamento, possuírem as mesmas portas de comunicação, porém programados por softwares diferentes (PETRUZELLA, 2014).

Na Figura 10, pode ser visto um exemplo de uma IHM.



Figura 10. Interface homem-máquina.  
Fonte: (EATON, 2019)

### **2.16 Unidade terminal remota (RTU)**

As unidades terminais remotas (RTUs) são principalmente unidades autônomas de aquisição e de controle de dados, sendo empregadas como dispositivos de interface de dados em campo, operando no local desejado interligados normalmente a um CLP através de redes de comunicações industriais (AAMIR et al., 2013). Uma configuração RTU típica inclui os módulos de hardware, como microprocessador de controle e memória associada, entradas analógicas, saídas analógicas, entradas de contator, entradas digitais, saídas digitais, comunicação e interfaces de E/S, fonte de alimentação, podendo ser instaladas em um rack (armário) conforme a necessidade do processo a ser controlado ou monitorado (JUSOH et al., 2014).

### **2.17 Redes industriais**

As redes industriais seguem alguns modelos de interconexão nos diversos níveis (camadas) que as compõem, utilizando algumas tecnologias de interconexão entre as camadas. Basicamente se concentram nos níveis de sistema de aquisição de dados (SCADA), controlador lógico programável (CLP) e sensores em geral. O tamanho e a complexidade dos sistemas industriais modernos estão crescendo

rapidamente. Para atender a esses requisitos, uma forma eficiente de integração e interconexão entre os diversos subsistemas que compõem o sistema são necessários diversos protocolos de comunicação industrial (KIM; LEE; CHOI, 2016).

### **2.17.1 Foundation Fieldbus**

O Fieldbus é um sistema de comunicação digital, serial e bidirecional, que interconecta equipamentos de medição e de controle, tais como CLPs, RTUs (Remote Terminal Unit), sensores e atuadores, permitindo a interligação direta de múltiplos instrumentos no campo, realizando funções de controle e monitoração de processo e estações de operação por meio de softwares supervisórios (MARTINS, 2011).

### **2.17.2 Modbus**

Modbus é um dos protocolos de comunicação industrial mais utilizados em automação industrial e sistemas de controle de processos de baixa e média complexidade. A razão para isso é que esses tipos de sistemas não possuem requisitos de comunicação muito exigentes em termos de transmissão e de volume de dados, sendo um protocolo simples, bem testado e econômico, baseado no modelo de comunicação mestre-escravo, cujo mestre é o responsável por coordenar diversos escravos. O protocolo Modbus pode utilizar vários tipos de meio físico para conexão entre os dispositivos. O mais utilizado é o RS485 a dois fios ou a quatro fios, empregando um cabo de par trançado que possibilita taxas de comunicação de até 12Mbps/s, a interface serial RS232 deve ser utilizada somente para comunicação ponto a ponto. Os diagramas esquemáticos do modelo de dois fios encontram-se na Figura 11 (MODBUS, 2021).

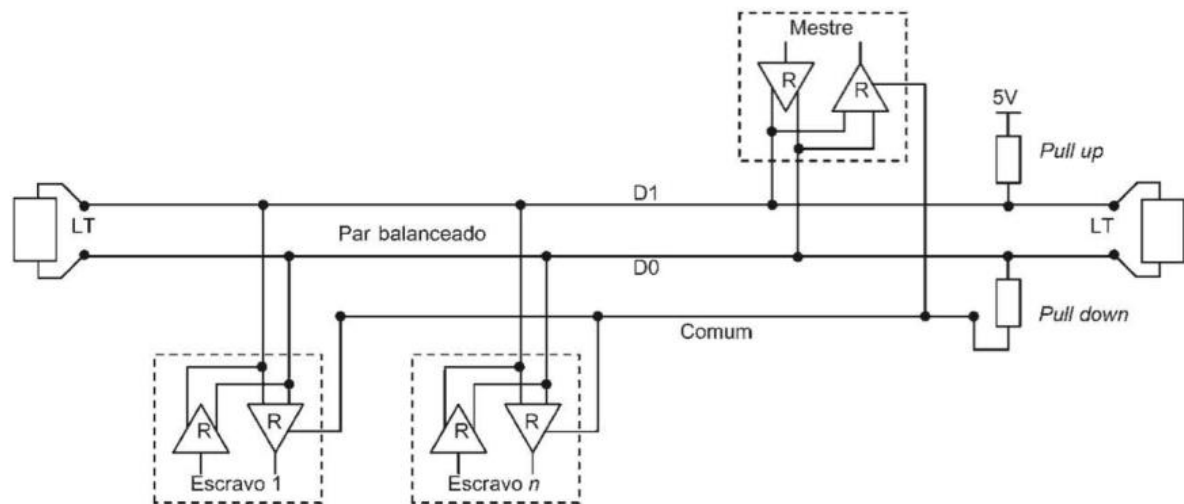


Figura 11. Comunicação MODBUS 2 fios.  
Fonte: (MORAES; CASTRUCCI, 2010)

A tecnologia de comunicação do protocolo Modbus é do tipo mestre-escravo, sendo que somente um mestre e até 247 escravos podem ser conectados à rede. Cada escravo pode ter um número variado de entradas e saídas, sendo que a comunicação é sempre iniciada pelo mestre, e os escravos aguardam informações pra enviar dados pela rede, não se comunicando entre si (MODBUS, 2021).

### 2.17.3 CAN (Controller Area Network)

A rede CANopen é uma rede baseada em CAN, utilizando telegramas para troca de dados na rede. O protocolo CAN é um protocolo de comunicação do tipo serial. Ele foi projetado originalmente para sistemas de controle de máquina orientados por movimento. Atualmente é usado em vários campos de aplicação, como equipamentos médicos, veículos off-roads, veículos marítimos, aplicações ferroviárias, automação industrial e automação predial (ZHANG; YUAN; LEI, 2017).

O meio físico para a transmissão de sinais em uma rede CANopen é especificado pela norma ISO 11898, definindo o barramento de transmissão de um par trançado com sinal elétrico diferencial. Toda a rede CANopen deve possuir um mestre, responsável por solicitar serviços de gerenciamento da rede, possuindo um conjunto de até 127 dispositivos denominados de escravos. Cada dispositivo da rede também pode ser chamado de nó e identificado na rede através de seu endereço, que deve ser único para cada escravo da rede para evitar conflitos (CAN, 2021).

#### **2.17.4 OPC Foundation**

A OPC é o padrão de interoperabilidade para a troca segura e confiável de dados no espaço de automação industrial. É independente de plataforma e garante o fluxo contínuo de informações entre dispositivos de vários fornecedores. O padrão OPC é uma série de especificações desenvolvidas por fornecedores da indústria, usuários finais e desenvolvedores de software. Essas especificações definem a interface entre Clientes e Servidores, incluindo acesso aos dados em tempo real, monitoramento de alarmes e eventos, acesso a dados históricos e outras aplicações (OPC, 2021).

Quando o padrão foi lançado pela primeira vez, em 1996, seu objetivo era abstrair protocolos específicos de CLPs (como Modbus, Profibus, etc.) em uma interface padronizada permitindo que sistemas IHM/SCADA fizessem interface com um "intermediário" que converteria solicitações de leitura ou gravação OPC em solicitações específicas de dispositivos e vice-versa. Como resultado, toda uma indústria de produtos emergiu, permitindo que os usuários finais implementassem sistemas usando os melhores produtos da categoria, todos interagindo perfeitamente via OPC, interligando vários setores, incluindo manufatura, automação predial, petróleo e gás, energia renovável e serviços públicos, entre outros (OPC, 2021).

#### **2.18 Internet da Coisas – IoT**

A Internet das Coisas (IoT), também chamada de Internet de Todas as Coisas ou Internet Industrial, é um novo padrão de tecnologia concebido como uma rede global de dispositivos e máquinas capazes de interagir uns com os outros. A IoT é reconhecida como uma das áreas mais importantes da tecnologia do futuro e está recebendo grande atenção da indústrias, visto que possibilita a comunicação entre os diversos sistemas de uma indústria (LEE; LEE, 2015).

A Internet das Coisas (IoT) é um padrão baseado em protocolos de Internet que compreendem diversas tecnologias interconectadas como RFID (identificação por radiofrequência) e WSN (redes sem fio de sensores e atuadores) que possibilitam trocas de informações entre dispositivos, tendo a capacidade de medir, comunicar e agir em qualquer lugar do mundo quando conectado à rede mundial de computadores. Com a criação de vários sistemas utilizando a tecnologia IoT, surgiu

a possibilidade de construir casas inteligentes, cidades inteligentes, redes inteligentes e sistemas de automação, nas quais os dados possam viajar pelo mundo através da rede de internet. No entanto, a IoT geralmente coincide com sensores com baixa potência, pouca memória e limitações de bateria e rede, por isso, há a necessidade de computação, armazenamento e acesso e análise de dados através da computação em nuvem (STOJKOSKA; TRIVODALIEV, 2017).

## **2.19 Linha do tempo dos trabalhos desenvolvidos**

Os primeiros trabalhos realizados nesta linha de pesquisa deram início oficialmente em 31 de agosto de 2016 com a inauguração do Centro de Desenvolvimento e Difusão Tecnológico em Energias Renováveis (CDTER-PR), projeto desenvolvido pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) em parceria com a Universidade Federal da Integração Latino-Americana (Unila), localizado na Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Fundetec) – BR 277, km 573.

O CDTER tem como objetivo ser referência em desenvolvimento de soluções inovadoras para empresas, indústrias e concessionárias de energia, visando disseminar e promover o desenvolvimento tecnológico sustentável, oferecendo ainda no local um espaço para realização de capacitação técnica, ensaios laboratoriais, cursos de aperfeiçoamento e projetos de pesquisa de pós-graduação. Entre os equipamentos contidos no laboratório, está à máquina extrusora de grãos, que realiza a extração de óleo e farelo pelo método a frio, possibilitando a transformação de culturas de sementes oleaginosas em energia e alimento.

Na sequência, serão apresentados alguns dos trabalhos que: utilizaram a prensa extrusora, produziram óleo, extraíram tortas (farelo) ou usaram as dependências do Laboratório CDTER.

Antes mesmo da inauguração do CDTER, alguns trabalhos já estavam sendo realizados na área com o emprego de óleos e biodiesel, como é o caso do trabalho de dissertação de mestrado desenvolvido por (TONDO, 2015), na qual foi estudado o efeito do pré-aquecimento de blendas de óleo de fritura e biodiesel com óleo diesel utilizadas como combustível em queimadores.

O trabalho de dissertação desenvolvido por (OLIVEIRA, 2016) avaliou a eficácia de um subproduto de cártamo no uso em nutrição animal e como fonte de



biocombustível.

No ano de 2018, foram realizados diversos trabalhos, seguindo a ordem cronológica de apresentação, o trabalho desenvolvido por (SCHUROFF, 2018) avaliou a adubação da cultura da soja com torta de crambe em comparação com a adubação mineral. Seguindo os trabalhos, temos a dissertação desenvolvida por (LEITE, 2018), avaliando o desempenho e as emissões de um conjunto motor gerador diesel operando com combustíveis à base de óleo vegetal de soja, linhaça e crambe. Em seguida, foi desenvolvido o trabalho de dissertação por (BRESSAN, 2018), que visou aperfeiçoar o processo de variáveis independentes de temperatura de extração e o teor de umidade aos grãos de crambe no rendimento de extração de óleo bruto e caracterização química e física do óleo e torta. E por fim, no ano de 2018, o trabalho de (COLLE, 2018) que consistiu em avaliar o desempenho de um gerador de eletricidade operando no modo dual com biogás e blendas de biodiesel.

No ano de 2019, o trabalho de dissertação de (LEWANDOSKI, 2019) realizou a automação de uma prensa extrusora mecânica, avaliando as diferentes temperaturas e velocidades de rotação aplicadas na moagem de grãos de crambe.

Em 2021, alguns trabalhos também foram desenvolvidos por pesquisadores em suas dissertações. Inicialmente, o trabalho desenvolvido por (GONGORA, 2021) avaliou as emissões e o desempenho de um motor gerador abastecido por misturas de biodiesel de cártamo e biodiesel comercial. No mesmo ano, o pesquisador (RODRIGUES, 2021) em sua dissertação aplicando sementes de canola na prensa extrusora otimizou o processo através de variáveis independentes, como temperatura e velocidade de rotação, caracterizando o óleo e a torta, química e fisicamente. Outro trabalho realizado foi desenvolvido por (POSSA, 2021), aplicado a um motor gerador foi realizada a análise energética e exergetica com base nas leis da termodinâmica em diferentes cargas.

Na Figura 12 apresentam-se em ordem cronológica os trabalhos realizados, conforme descrito neste tópico. Na mesma figura, pode ser observado em detalhe amarelo que o projeto deste trabalho também faz parte das pesquisas realizadas e que está sendo finalizado no ano de 2021.



Figura 12. Linha do tempo dos trabalhos realizados.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Material

##### 3.1.1 Localização do experimento

O experimento foi realizado no laboratório do Centro de Tecnologia Automotiva (CTA) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste, Campus de Cascavel, na latitude de 24°59'18.1"S, longitude de 53°26'55.4"O, e altitude de 790m (GOOGLE, 2021). Para realizar a extração do óleo da semente de canola foi utilizado o laboratório CDTER pelo fato de que a prensa extrusora encontrava-se instalada naquele espaço, localizado na Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Fundetec) – BR 277, km 573.

A Figura 13 apresenta os principais equipamentos utilizados durante o experimento.

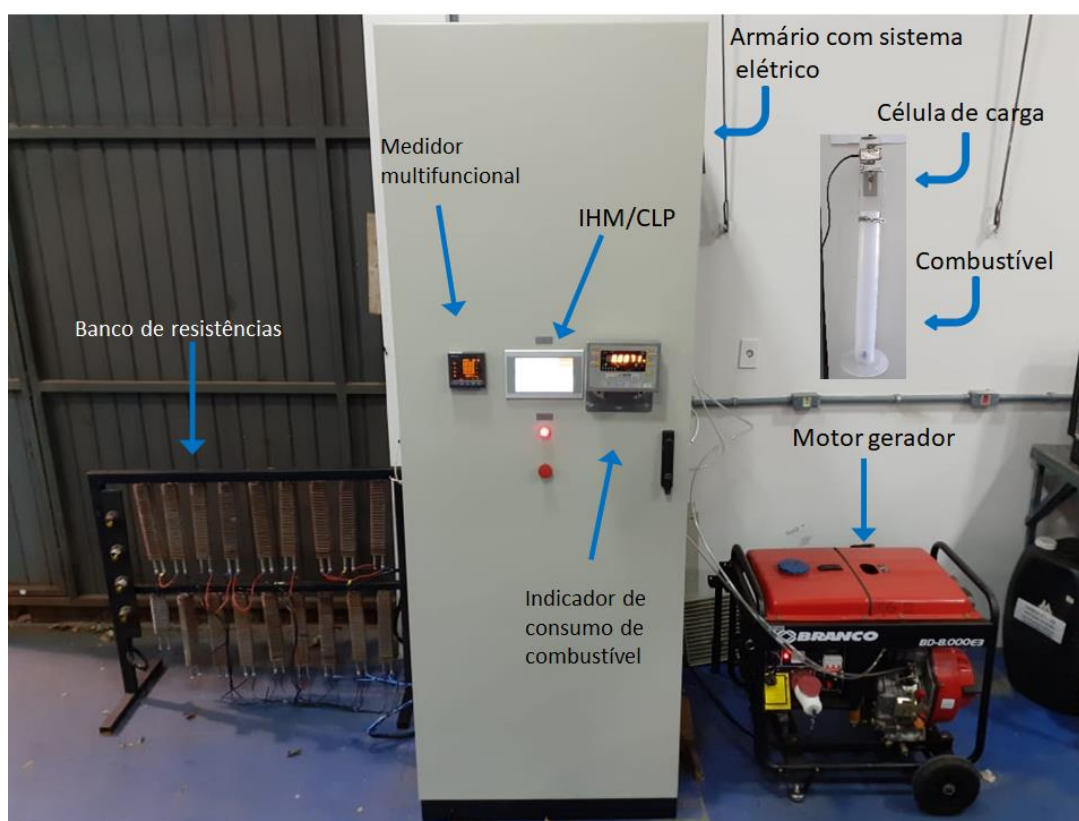


Figura 13. Equipamentos utilizados no experimento.

Para efetuar o registro dos dados fornecidos pelos equipamentos, máquinas e sensores na avaliação foram utilizados, e também, sistemas de aquisição e registro de dados com padrão industrial durante o processo. Para isto, empregou-se um controlador lógico programável (CLP ou PLC), com recursos tecnológicos incorporados de interface homem-máquina (IHM) touch screen de 7" (sete polegadas), uma unidade terminal remota de entradas e saídas (RTU), um medidor multifuncional de parâmetros elétricos, um indicador de pesagem com célula de carga e alguns protocolos de redes industriais.

Sendo possível apresentar as informações em tempo real do processo em sistemas de informação como supervisórios, a fim de monitorar, apresentar, registrar e armazenar os parâmetros do sistema de geração.

Na Figura 14 é apresentado o armário com a porta aberta expondo os componentes de proteção e acionamento utilizados no experimento.

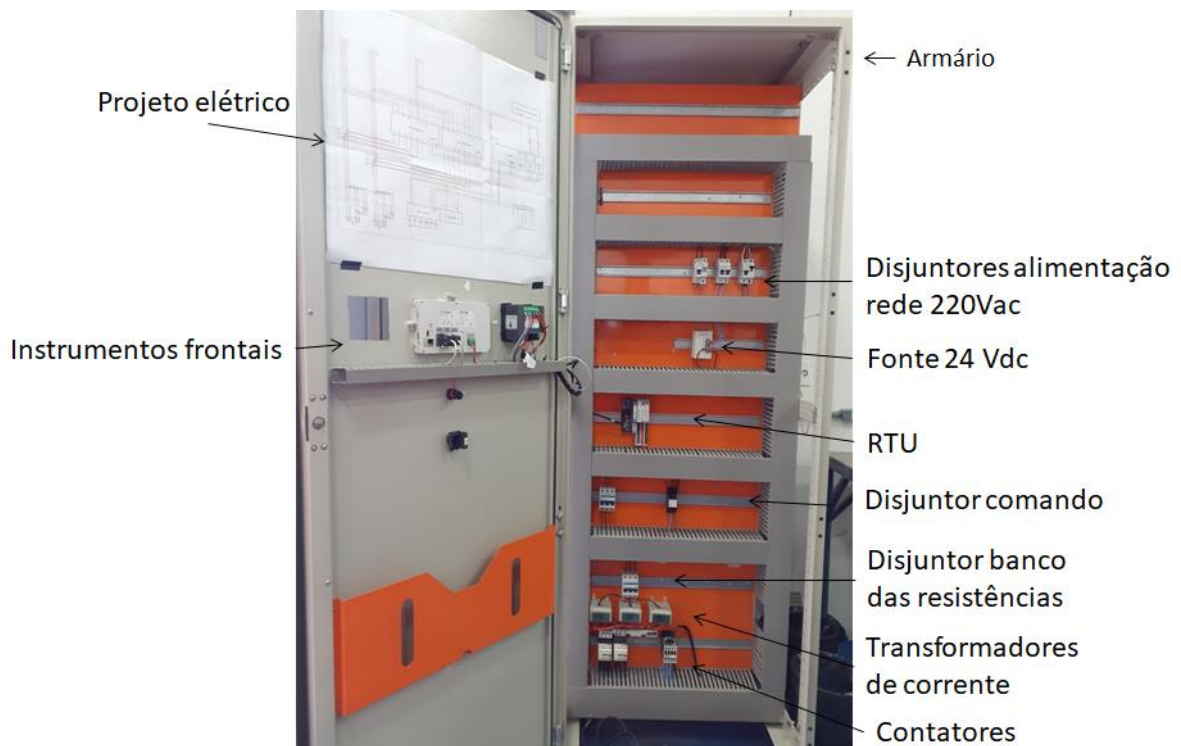


Figura 14. Armário do sistema elétrico com os componentes de medição, automação e comando.

### 3.1.2 Conjunto motor gerador

Foi utilizado um conjunto motor gerador ciclo diesel, monocilíndrico,

refrigerado à ar, da marca Branco, modelo BD-8000 E3 conforme pode ser observado na Figura 15.



Figura 15. Conjunto motor gerador.

De acordo com recomendações do fabricante, ao se dar início ao funcionamento do grupo motor gerador é necessário deixá-lo ligado em funcionamento por cerca de cinco minutos, sem carga, para que a temperatura do cárter estabilizasse. Desta forma, antes de ser iniciado o experimento e em cada sequência de ensaios, seguiu-se tal recomendação para que a temperatura de funcionamento do motor não influenciasse nos resultados obtidos.

Quando necessária a troca de combustível, o filtro e as mangueiras foram esgotados para retirar o óleo acumulado. Colocado o novo óleo, acionando o motor e permanecendo ligado consumindo 50 mL da nova mistura antes de quantificar as variáveis em análise para a eliminação total do combustível anterior.

As características técnicas do motor de combustão alimentado por diesel e biodiesel do conjunto motor gerador modelo BD8000E3, da marca BRANCO utilizado para comparação dos dados de emissões, podem ser observadas na Tabela 8.

Tabela 8. Especificações do motor

Descrição	Especificação
Sistema de combustão	Injeção direta
Diâmetro x Curso	88 mm x 75 mm
Cilindrada	456 cm <sup>3</sup>
Taxa de compressão	20:1
Potência máxima	13,0 cv a 3600 rpm
Potência contínua	11,2 cv a 3600 rpm
Torque máximo	3,51 kgfm a 2000 rpm
Consumo	2,7 L*h <sup>-1</sup>
Lubrificação	Forçada por bomba de óleo
Capacidade de óleo cárter	1,5 L
Dimensões (C x L x A)	480 x 520 x 570
Nível de ruído (7 m)	79 dB

Fonte: Branco (2019)

As especificações técnicas do motor, curva de torque, potência e consumo específico constam na Figura 16.

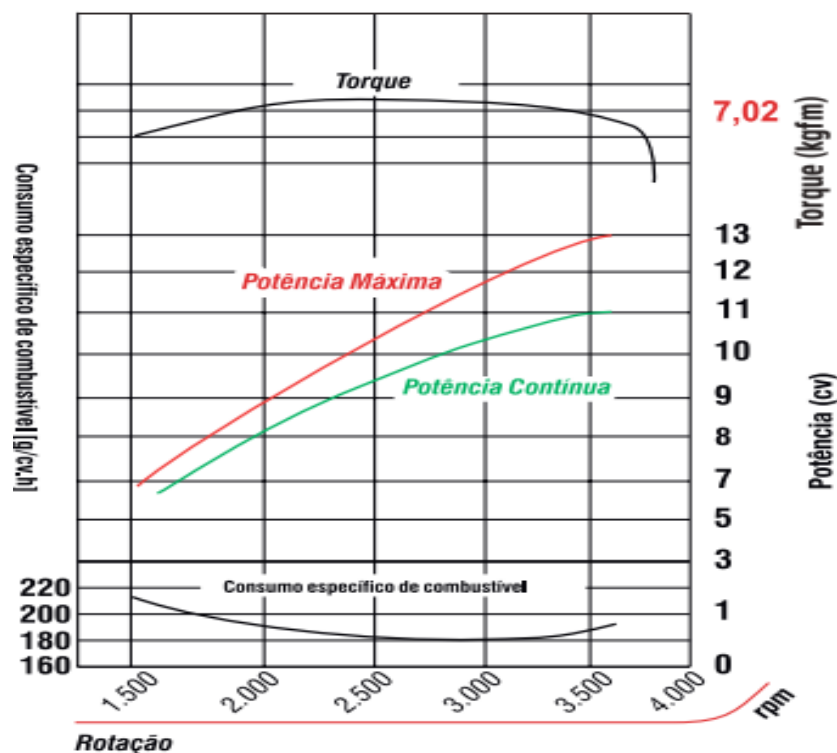


Figura 16. Curva torque, potência, consumo específico de combustível do motor.  
Fonte: Branco (2019)

As características técnicas do motor que aciona o gerador responsável pela alimentação das cargas elétricas do conjunto motor gerador modelo BD8000E3, da marca BRANCO para comparação dos dados de desempenho energético, podem ser vistas na Tabela 9.

Tabela 9. Características do Gerador

<b>Descrição</b>	<b>Especificação</b>
Potência máxima	8,0 kVA
Potência contínua	7,5 kVA
Tensão de saída	240 V / 120 V
Fases	Trifásico
Controle de tensão	AVR / Com escova
Capacidade do tanque	10 L
Autonomia	5,0 h
Dimensões (C x L x A) (conjunto)	720 x 492 x 650 (mm)
Massa (conjunto)	110 kg

Fonte: (BRANCO, 2019)

### 3.1.3 Óleo diesel mineral tipo A

Como componente principal nas misturas estudadas nos ensaios, foi utilizado óleo diesel mineral tipo A (S10), fornecido pela empresa comercial distribuidora com o nome Estrada Distribuidora de Derivados de Petróleo LTDA, localizada na BR 277, km 579 na cidade de Cascavel-PR.

O combustível utilizado A-S10 segue a norma da Agência Nacional do Petróleo – ANP com a Resolução ANP n° 50 de 2013, no seu Art 3° fica estabelecido que a nomenclatura A-S10 deverá apresentar o teor máximo de enxofre de 10 mg/kg (ANP, 2013b).

### 3.1.4 Instrumentação do conjunto motor gerador

Na Figura 17 pode ser observado o fluxograma dos equipamentos utilizados no trabalho, onde se observam os barramentos de comunicação (OPC, CANopen e Modbus) e suas conexões com seus respectivos equipamentos.

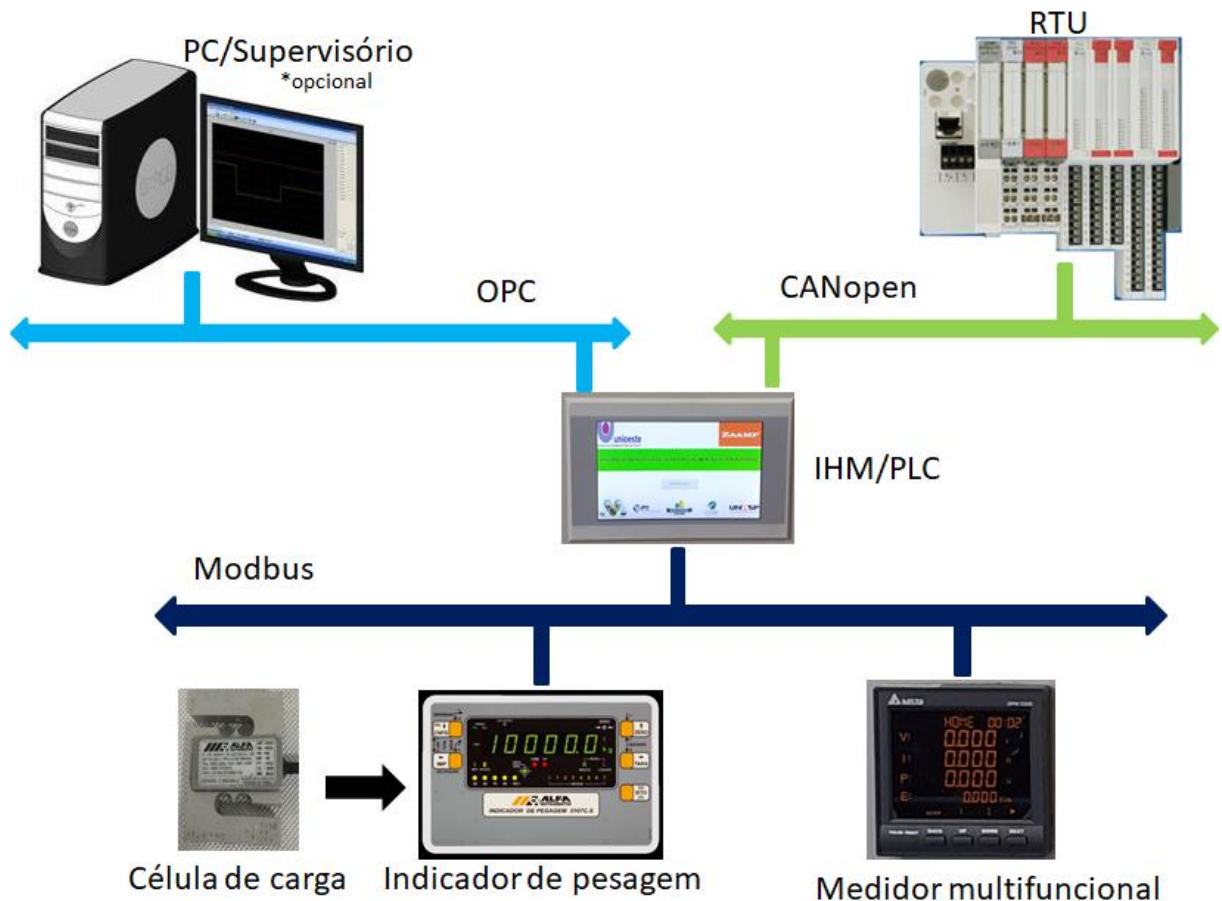


Figura 17. Layout com os equipamentos de medição e barramento de redes industriais.

A seguir serão apresentados os detalhes de cada equipamento utilizado no trabalho.

### 3.1.4.1 Controlador lógico programável (CLP) com interface homem-máquina (IHM)

Os CLPs destinam-se principalmente ao uso em aplicações de construção de máquinas e sistemas, podendo ser empregados ao monitoramento, operação e controle de máquinas e sistemas (Figura 18).

Foi utilizado um CLP com tela sensível ao toque de 7" polegadas, da marca Eaton, modelo XV-102-D6-70TWR, que possui as características apresentadas na Tabela 10 conforme catálogo do fornecedor.

Tabela 10. Características técnicas CLP/IHM.

Descrição	Valores
Display LCD	7"
Sensor de toque	Resistivo
Processador	400 MHz
Memória RAM	64 MB
Alimentação	24 Vcc
Interface de comunicação	RS485 RS232 CAN Ethernet USB
Sistema operacional	Windows CE
Software de programação IHM	GALILEU v10
Software de programação CLP	CODESYS 2

Os detalhes do controlador lógico programável (CLP) com sua tela sensível ao toque da interface homem-máquina (IHM), são observados na Figura 18.

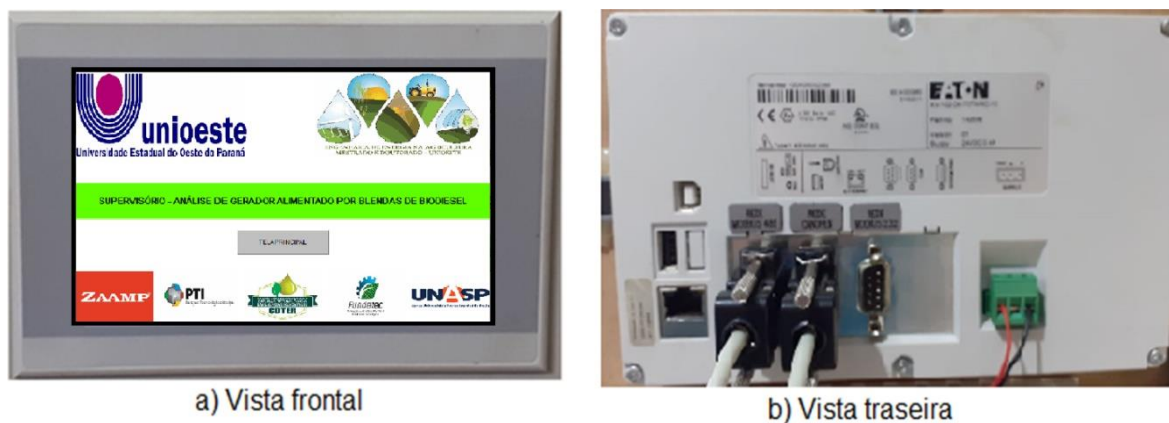


Figura 18. Controlador lógico programável com interface homem-máquina.

Neste equipamento foram desenvolvidas telas interativas nas quais o operador ao ligar o equipamento seleciona a primeira tela a ser apresentada que pode ser vista na Figura 19.





Figura 19. Tela principal do CLP/IHM.

O operador do sistema pode selecionar a próxima tela onde os parâmetros de carga podem ser selecionados para a realização do teste, podendo ser alterada a carga de 0 W (sem carga), 1000, 1500, 4500 e 6000 W através dos botões virtuais implementados na IHM do CLP, podendo ser observado na Figura 20.

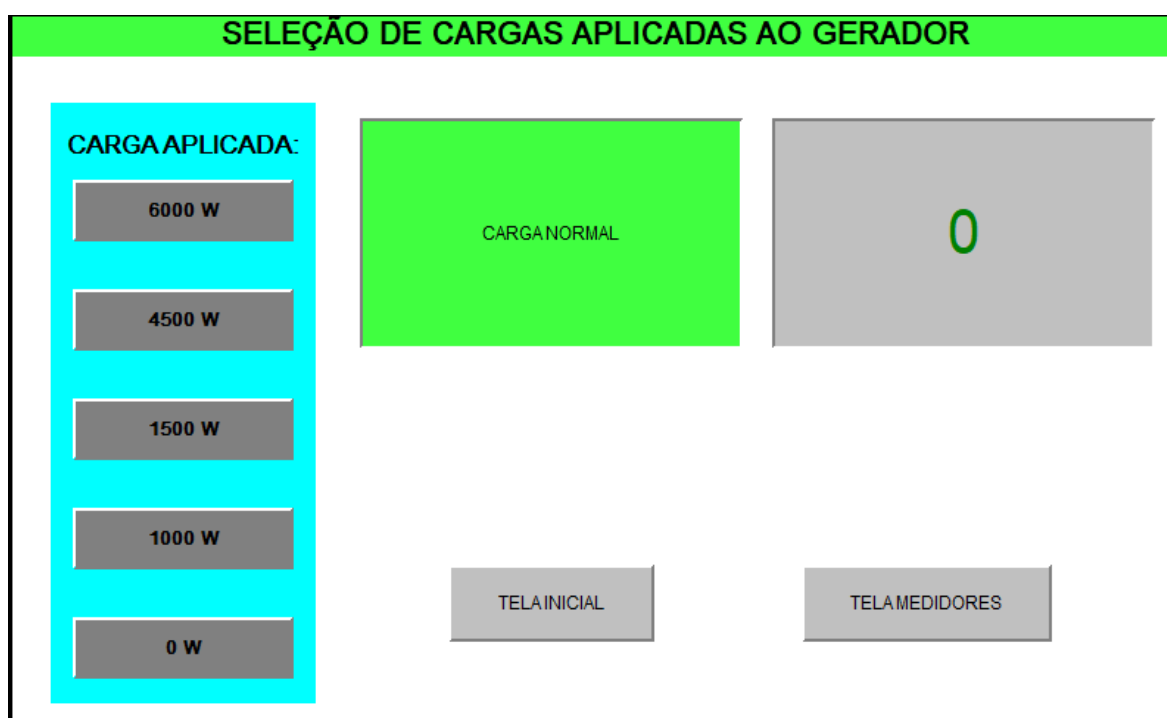


Figura 20. Tela com os botões de seleção das cargas.

Selecionando a tela de medidores, o operador do sistema pode monitorar os parâmetros de leitura, onde são apresentados, através dos galvanômetros digitais (tensão, frequência, corrente, energia gerada e consumo de combustível), conforme a Figura 21.



Figura 21. Tela com os medidores de tensão, frequência, corrente, energia e consumo de combustível.

Para registrar os parâmetros elétricos, foi utilizado um medidor multifuncional avançado DPM-C520 da empresa Delta que oferece medições precisas de diversos valores de medidas elétricas, apresentando valores instantâneos em seu display e/ou enviando os dados via protocolo Modbus-RS485 (tensão, corrente, energia, frequência e outros). Isso pode ser observado na Figura 22.



Figura 22. Medidor multifuncional de parâmetros elétricos DPM-C520.

Os principais valores do medidor multifuncional de parâmetros elétricos podem ser vistos na Tabela 11.

Tabela 11. Características técnicas do medidor multifuncional.

Descrição	Range	Precisão
Tensão de alimentação	80 - 265 V	
Tensão máxima medida	20 - 400 V	± 0.5%
Corrente máxima medida	1 - 5 A	± 0.5%
Frequência	50 - 60 Hz	± 0.5%
Porta de comunicação	RS485 (9600/19200/38400 bps)	
Display	LCD	
Temperatura de operação	-20 - 70°C	
Umidade relativa	5 - 95 %	

O medidor multifuncional possui como característica máxima para a leitura de corrente de 5<sup>a</sup>, então foi necessário inserir três TCs (transformadores de corrente), um para cada fase do circuito, com especificação de relação entre entrada e saída de 50/5 A, desta forma, o medidor multifuncional foi configurado com esta relação (50/5), sendo possível o registro das correntes superiores aos iniciais 5A. A Figura 23 mostra um dos TCs que foram instalados ao circuito.



Figura 23. TC – Transformador de corrente 50/5.

O equipamento chamado de RTU (*Remote Terminal Unit*), responsável pelo acionamento das cargas aplicadas ao motor gerador (banco de resistências)

pode ser visto na Figura 24, sendo composta pelo cartão principal, incluindo a fonte de alimentação e os cartões de entrada e/ou saídas.

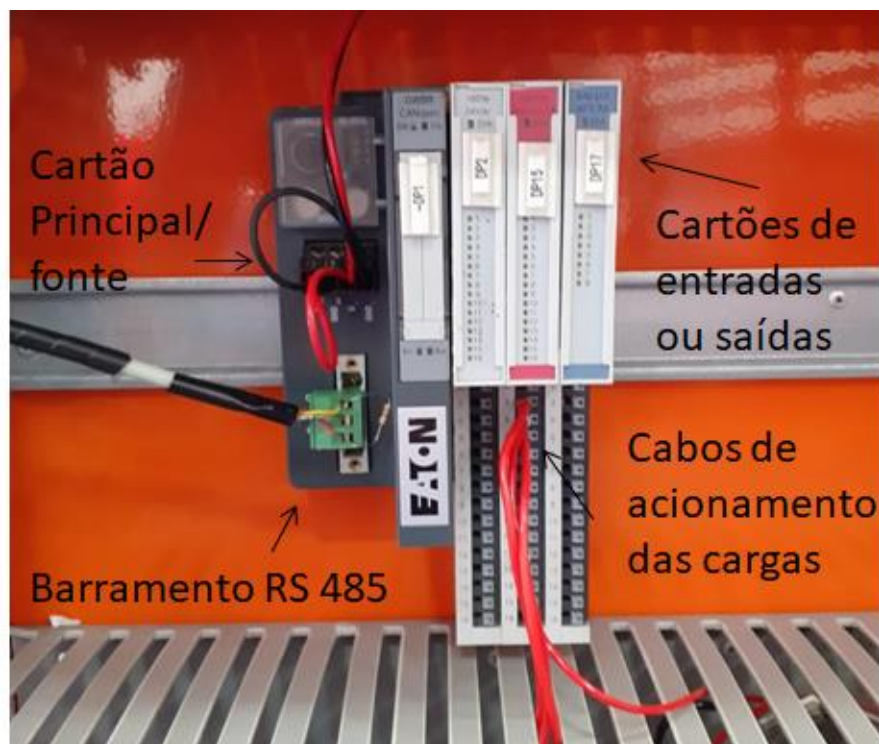


Figura 24. RTU (Remote Terminal Unit).

Os componentes de proteção, medição e acionamento podem ser vistos na Figura 25.



Figura 25. Componentes elétricos de comando, proteção, acionamento e medição.

### 3.1.5 Banco de resistências

Para registrar o consumo de energia elétrica gerada pelo motor gerador, foi utilizado um banco de cargas resistivas, Figura 26 (a), composto por quinze resistências em formato de “U” com potência nominal de 1500 W cada, com tensão de alimentação de 220 V em corrente alternada. Na Figura 26 (b), pode ser observado um dos elementos que compõem o banco de resistências.



a) Banco de resistências



b) Resistência

Figura 26. Banco de cargas resistivas.

O manual do fabricante do motor gerador relata uma potência máxima de 8 kVA e uma potência contínua de 7,5 kVA, porém os primeiros testes indicaram que, aplicada uma carga aos geradores maior que 7 kW, o sistema eletrônico de proteção desligava o disjuntor termomagnético do painel do gerador. Quando a carga aplicada era igual a 6,5 kW, o funcionamento era instável, a tensão gerada reduzia para valores inferiores 195 volts, a frequência permanecia com valores menores que a 54 Hz, indicando uma sobrecarga no gerador. Assim, estabeleceu-se que a máxima carga aplicada nos testes seria de 6,0 kW, sendo esta carga utilizada como maior valor definida de carga máxima durante todo o experimento, onde o conjunto motor gerador funcionou adequadamente.

Como carga elétrica para o grupo motor gerador utilizou-se um banco de

resistências com carga trifásica configurada em formato triângulo, equilibrada perfazendo um total para a carga máxima de 6,0 kW, com tensão nominal de 220 volts, para uma frequência de 60 Hz. As resistências foram agrupadas em módulos, permitindo a configuração série e paralelo através de acionamento por dispositivos do tipo contadores elétricos, podendo variar de 0 W (sem carga), 1,0; 1,5; 4,5 e 6,0 kW (carga máxima) na carga aplicada ao sistema de geração. O banco de resistências foi instalado na face externa da sala de testes devido ao aquecimento gerado durante o trabalho.

O circuito das cargas utilizadas durante o experimento pode ser observado na Figura 27.

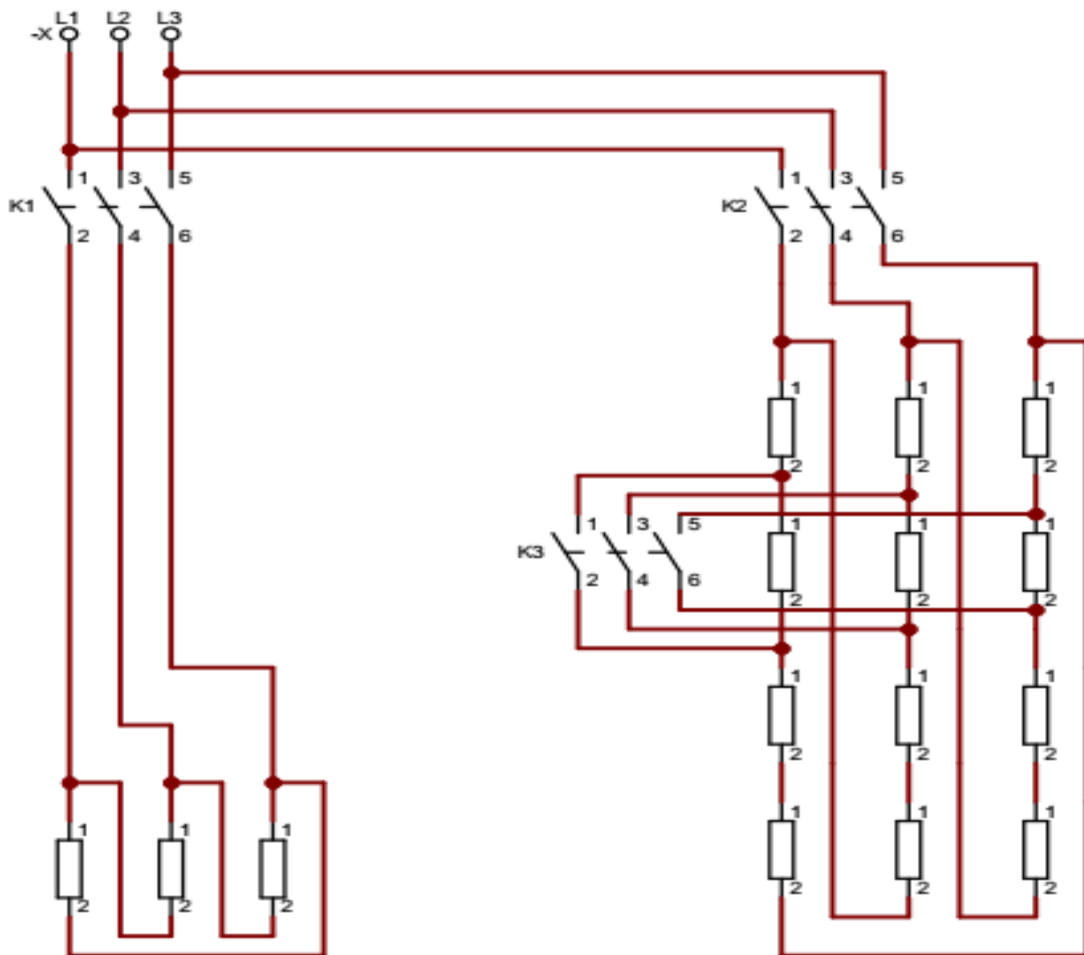


Figura 27. Circuito elétrico das cargas.

A configuração das cargas que foram conectadas ao gerador pode ser vista na Tabela 12, onde a carga de 1,0 kW foi aplicada acionando o contador K2; a carga de 1,5 kW foi aplicada acionando os contadores K2 e K3; a carga de 4,5 kW foi

aplicada com o acionamento do contator K1 e finalmente a carga de 6,0 kW foi aplicada ao gerador quando os contatores K1, K2 e K3 foram acionados, onde pode ser observado na Tabela 12.

Tabela 12. Acionamento das cargas resistivas

CARGA	CONTATOR		
	K1	K2	K3
1,0 kW		X	
1,5 kW		X	X
4,5 kW	X		
6,0 kW	X	X	X

### 3.1.6 Consumo de combustível

Para registrar a massa de combustível consumida durante os testes, utilizou-se uma balança digital de padrão industrial, formada pelo indicador de pesagem digital (Figura 28a) e célula de carga (Figura 28b) com capacidade nominal para 50 kg e resolução de 1 g.

A célula de carga utilizada é da marca Alfa, modelo SV (Figura 28-b) e opera mecanicamente sob forças de tração. As suas especificações técnicas estão contidas na Tabela 13 conforme descrito no catálogo do fabricante. Para a sua utilização no experimento, aferiu-se a célula de carga por meio das massas padrões de chumbo de 100,0 g e 500,0 g.



a) Indicador de pesagem



b) Célula de carga

Figura 28. Indicador de pesagem digital e célula de carga.

As demais especificações da célula de carga podem ser verificadas na Tabela 13, retiradas do manual do fabricante.

Tabela 13. Especificações técnicas da célula de carga SV50

<b>Célula de Carga – SV 50</b>	
Fabricante	Alfa S.A.
Material	Alumínio
Esforços	Tração
Sensibilidade mV/V	2,0000
Temperatura de trabalho	-5° a 60°C
Número de divisões	5.000
Classe de proteção (interferência)	IP67

### 3.1.7 Analisador de gás

A análise dos gases de combustão gerados no ensaio do conjunto motor gerador operando com os combustíveis com misturas à base de óleo vegetal ocorreu a partir da utilização do analisador portátil de gases de combustão da marca BACHARACH, modelo PCA3 (Figura 29). O aparelho possui sensores eletroquímicos capazes de realizar as medições de oxigênio (O<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), óxido de nitrogênio (NO), Dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e calcular os valores de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>),



Figura 29. Analisador de gás.

Os parâmetros medidos e parâmetros calculados pelo analisador de gás PCA3 podem ser observados nas Tabelas 14 e 15, respectivamente retirados do



manual do fabricante.

Tabela 14. Especificações dos valores medidos pelo analisador PCA-3

<b>Valores medidos</b>	<b>Range</b>	<b>Precisão</b>
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	0.1 a 20.9%	±0,3%
Temperatura do gás	-4 a 2,192 °F (-20 a 1200 °C)	± 2°C
Temperatura do AR	-4 a 999 °F (-20 a 537 °C)	± 1°C
Monóxido de carbono (CO)	0 a 4000 ppm	± 5%
Oxido nitroso (NO)	0 a 3000 ppm	± 5%
Dióxido de nitrogênio (NO <sub>2</sub> )	0 a 500 ppm	± 5%

Tabela 15. Especificações dos valores calculados pelo analisador PCA-3

<b>Valores calculados</b>	<b>Range</b>
Eficiência de combustão	0.1 a 100%
Excesso de ar	1 a 250%
Óxidos de nitrogênio NO <sub>x</sub> (NO + NO <sub>2</sub> )	0 a 3500 ppm

### 3.2 Métodos

Foram avaliados os parâmetros de desempenho operacional de um conjunto motor gerador de potência máxima de 8,0 kVA, utilizando-se biocombustível à base de óleo de canola. O biodiesel foi misturado em diferentes proporções com o óleo diesel mineral (A-S10), adquirido junto à distribuidora local de combustíveis. O conjunto motor gerador foi acionado sob diferentes cargas resistivas, quantificando-se a energia produzida fornecida ao sistema a partir da combustão dos combustíveis.

Os ensaios ocorreram sob um delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro demandas de cargas elétricas resistivas de 1,0; 1,5; 4,5 e 6,0 kW e sete concentrações de combustíveis distintas. A composição dos combustíveis ensaiados está apresentada na Tabela 16.

Tabela 16. Combustíveis utilizados no experimento

<b>Nome</b>	<b>Composição adotada</b>
B005	Mistura de 5% de biodiesel de canola e 95% de óleo diesel A-S10
B010	Mistura de 10% de biodiesel de canola e 90% de óleo diesel A-S10
B015	Mistura de 15% de biodiesel de canola e 85% de óleo diesel A-S10
B020	Mistura de 20% de biodiesel de canola e 80% de óleo diesel A-S10
B050	Mistura de 50% de biodiesel de canola e 50% de óleo diesel A-S10
B100	Mistura de 100% de biodiesel de canola e 0% de óleo diesel A-S10
D100	Óleo diesel A-S10 (testemunha)

Os valores atribuídos às blends (mistura) do diesel A-S10 (diesel puro) com o biodiesel produzido foram determinados segundo alguns parâmetros:

B005 devido ao motor vir de fábrica com esta configuração;

B010 pelo fato que na data do trabalho ocorreram mudanças nas políticas nacionais cuja porcentagem de biodiesel adicionada ao diesel está em 10%;

B015 devido ao fato de que o cronograma do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) confere em sua programação de que em 2023 a mistura obrigatória de biodiesel no diesel de até 15%;

B020, pois foi o valor citado na literatura por Demirbas (2009) e Ali et al. (2016), até esta porcentagem de mistura os motores não apresentam grandes diferenças em termos de consumo, torque e emissões;

B050 e B100 para testar além do padrão normalmente citado nos trabalhos pesquisados.

### 3.2.1 Determinação do consumo de combustível

Para determinação da massa de combustível consumida, utilizou-se uma balança digital de padrão industrial, formada pelo indicador de pesagem digital (Figura 28a) e célula de carga (Figura 28b).

O tempo de realização de cada teste foi contabilizado pelo sistema de automação através da comunicação pela rede Modbus RS485, obtendo-se, deste modo, o consumo de combustível (fluxo de massa). A Equação 5 mostra o cálculo do consumo de combustível realizado em cada um dos testes de desempenho do conjunto.

$$Ma = (mi - mf)/t \quad (5)$$

Onde:

Ma – consumo horário de combustível (g/s)

mi – massa inicial de combustível (g)

mf – massa final de combustível (g)

t – tempo de ensaio (s)

Para determinar o consumo específico de combustível, foi utilizada a unidade de potência ( $\text{g.kW}^{-1}\text{h}^{-1}$ ), conforme a Equação 6, adaptada de Gabriel Filho et al. (2010).

$$CE=(3600*Ma)/EG \quad (6)$$

Onde:

CE - consumo específico ( $\text{g/kW}^*\text{h}^{-1}$ );

Ma - consumo horário volumétrico ( $\text{kg}^*\text{s}^{-1}$ ); e

EG - energia gerada no conjunto motor gerador (kW).

### 3.2.2 Avaliação da eficiência energética

Para o cálculo da eficiência energética, foi utilizada a Equação 7, adaptada de (Roy, Wang e Bujold (2013)).

$$EE=\{3600/(PCI*CE)\} * 100 \quad (7)$$

Na qual:

EE - eficiência energética (%);

PCI - poder calorífico inferior do combustível ( $\text{MJ kg}^{-1}$ );

CE - consumo específico do combustível ( $\text{g kW h}^{-1}$ ); e

3600 - fator de conversão entre unidades

### 3.2.3 Determinação das emissões geradas pelo conjunto motor gerador

Para a determinação e análise dos gases de combustão gerados no ensaio do conjunto motor gerador, utilizou-se o analisador de gás marca BACARACHA, modelo PCA3, conforme pode ser observada (Figura 30) a representação da sonda inserida no cano de escapamento do motor de combustão, a fim de coletar somente os gases que realmente estavam presentes na reação exotérmica ocorrida na câmara de combustão do motor.

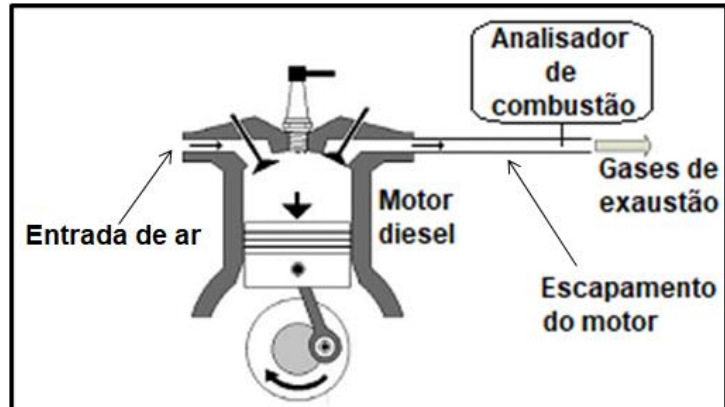


Figura 30. Sonda do analisador inserido no escapamento do motor.

### 3.2.4 Extrusão da semente

O óleo de canola utilizado nos ensaios de desempenho do conjunto motor gerador foi produzido através do processo de prensagem mecânica de grãos na prensa extrusora, da marca Zaamp (Figura 31).



Figura 31. Prensa extrusora de óleo.

A semente recebida de produtores locais foi prensada pela máquina, produzindo óleo classificado como sendo óleo bruto, possuindo resíduos sólidos dos grãos da semente oleaginosa processada. Para separar as impurezas, foi

necessário realizar a decantação e a filtragem do óleo, removendo as partículas sólidas dos grãos da semente decorrentes do processo de extrusão.

### 3.2.5 Produção do biodiesel

O biodiesel foi produzido pelo processo de transesterificação por via metílica em procedimento realizado no Laboratório Centro de Tecnologia Automotiva (CTA) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, campus Cascavel – PR.

Ao processo de obtenção do biodiesel foi empregada uma proporção de 400 ml de óleo bruto da canola, 100 ml de metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) e 2,6 g de hidróxido de potássio (KOH). O óleo bruto foi filtrado e aquecido à temperatura de  $60^\circ\text{C}$ , utilizando uma placa aquecedora com agitador magnético. Foi então adicionado à mistura de metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) com hidróxido de potássio (KOH) que estava preparada. Depois de decorridos aproximadamente 30 minutos, à temperatura constante de  $60^\circ\text{C}$  com agitação contínua, a mistura reacional foi transferida para funil de separação, permanecendo em repouso por 24 horas, permitindo assim a separação das fases, sendo a fase mais densa composta basicamente por glicerina e a fase menos densa composta por biodiesel.

Depois de separados, o biodiesel foi submetido a consecutivas lavagens com água destilada, com a finalidade de remover o excesso de hidróxido de potássio (KOH). Utilizou-se uma proporção de (3:1) três partes de biodiesel para uma parte de água destilada, agitando e aquecendo a  $60^\circ\text{C}$  por três minutos, colocados no funil de separação novamente e aguardando a separação de fases entre o biodiesel e a água destilada. Foram repetidos de 6 a 8 vezes este processo para todo o material produzido.

Como indicação para a conclusão do processo de lavagem, utilizou-se a solução composta por 0,1 g de fenolftaleína ( $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$ ) e 10 ml de etanol absoluto ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) P.A. adicionando duas gotas desta solução em 100 ml da água separada após o processo.

A substância chamada de fenolftaleína ( $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$ ) a 1%, quando usada para titulação, apresenta-se incolor em meio ácido (pH abaixo de 8,2), levemente rosada (pH entre 8,2 e 9,8) e roxa em meio alcalino (pH entre 9,8 e 12,0). As primeiras lavagens do biodiesel apresentaram coloração roxa após titulação devido ao pH ser

maior que 10 e ao excesso de hidróxido de potássio (KOH) no biodiesel. O processo foi repetido até que a titulação apresentasse uma solução incolor, indicando, através do pH ser abaixo de 8,2 e que a concentração de hidróxido de potássio (KOH) no biodiesel estava em conformidade.

O biodiesel finalmente foi submetido à estufa com temperatura de 60°C até atingir peso constante, em processo que perdurou por 72 horas e indicou que o mesmo estava livre de umidade e completo para os testes de conformidade com a legislação vigente, a Resolução nº45 da Agencia Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2014).

Após a produção do biodiesel, foram realizadas as misturas (blendas) com o combustível diesel de origem mineral denominado de diesel A-S10 com as seguintes nomenclaturas: B005 (5% de biodiesel e 95% de diesel – diesel puro A-S10); B010 (10% de biodiesel e 90% de diesel A-S10); B015 (15% de biodiesel e 85% de diesel A-S10); B020 (20% de biodiesel e 80% de diesel A-S10) B50 (50% de biodiesel e 50% de diesel A-S10) e B100 (biodiesel puro).

### **3.2.6 Análise físico-química dos combustíveis**

As análises físico-químicas foram realizadas para o biocombustível à base de óleo de canola e para o diesel A-S10, sendo este último servindo como testemunha para análise técnica comparativa do biocombustível. As análises foram realizadas em conformidade com a legislação atual do biodiesel, que foram: teste de acidez, densidade, viscosidade e poder calorífico.

As análises de densidade e viscosidade foram realizadas a partir da disponibilidade de equipamentos presentes no laboratório da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, no campus da cidade de Cascavel, sendo estas as análises normalmente realizadas em trabalhos científicos semelhantes a este.

O valor do consumo específico pode ser utilizado para a caracterização do potencial de um determinado combustível, permitindo saber quanto de combustível o motor consome para produzir uma unidade de energia. Para isto multiplica-se a massa específica do combustível pelo consumo específico, resultando no volume de combustível consumido, nos casos em que seja conveniente ter esta informação para facilitar a avaliação dos custos de produção de energia.

### 3.2.6.1 Índice de acidez

O índice é definido pela massa de hidróxido de potássio (KOH) necessária para neutralizar 1,0 g dos ácidos graxos livres da amostra verificada. O teste utilizou 25 ml de solução 2:1 (volume: volume) de éter etílico (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O) e etanol absoluto (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH) em aproximadamente 2 g de biodiesel, pesadas em balança analítica. Esta solução, após a adição de 2 gotas de fenolftaleína (C<sub>20</sub>H<sub>14</sub>O<sub>4</sub>) com 1% como indicador, foi titulada com solução aquosa de hidróxido de potássio (KOH) até aparecer coloração rosa persistente por 30 segundos, aplicando o volume gasto da solução na equação 8:

$$Ia = \frac{V * f * 5,61}{P} \quad (8)$$

Onde:

IA - índice da acidez;

V - solução de hidróxido de potássio (KOH) gasto na titulação (mL);

f - fator da solução de hidróxido de sódio;

P - massa da amostra de biodiesel usado na titulação (g).

### 3.2.6.2 Viscosidade cinemática

As análises da viscosidade cinemática dos combustíveis foram realizadas através do viscosímetro capilar Cannon-Fenske. Neste ensaio padronizado o viscosímetro foi mantido imerso em água com uma temperatura controlada de 40°C. Cronometrou-se o tempo de escoamento do combustível dentro do viscosímetro do menisco superior ao menisco inferior. Para cada amostra do biocombustível, o ensaio foi realizado em triplicata.

Através do tempo de escoamento do combustível e do valor da constante de calibração do viscosímetro (0,035), a viscosidade cinemática foi determinada através da equação (9). O valor da viscosidade cinemática foi expresso em cSt (centistoke) ou mm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>.

$$v = C * t \quad (9)$$

Onde:

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

$C = 0,035$  - Constante de calibração do viscosímetro ( $\text{mm}^2.\text{s}^{-2}$ );

$t$  = Tempo de escoamento do combustível (s).

### 3.2.6.3 Massa específica à 20°C

A determinação da massa específica das amostras dos combustíveis à 20°C foi realizada por meio de um picnômetro, que consiste em um medidor volumétrico ideal para determinar a densidade de substâncias líquidas. O picnômetro utilizado apresentou capacidade volumétrica de 25,0 ml e tolerância de  $\pm 0,04$  ml à temperatura de 20°C. Antes do início dos testes o picnômetro foi registrado sua massa, inserido a amostra e subtraído o valor da sua massa com a massa das amostras dos biocombustíveis. Para medição da massa das amostras, foi utilizada uma balança analítica, com resolução de 0,0001g.

As amostras foram mantidas a uma temperatura de 20°C e imersas em água. As massas das amostras foram determinadas a partir da equação (10), onde calculou-se a massa específica a 20°C.

$$D = \frac{m}{v} \quad (10)$$

Onde:

$D$  = massa específica ( $\text{g}.\text{ml}^{-1}$ );

$m$  = massa do líquido (g);

$v$  = volume do líquido (ml).

Tabela 17. Análise físico-química dos combustíveis

Combustível	Viscosidade	Massa específica	Índice de Acidez
	( $\text{mm}^2 \text{ s}^{-1}$ )	( $\text{g ml}^{-1}$ )	( $\text{mg KOH g}^{-1}$ )
Diesel A-S10	4,69	0,856	0,05
Biodiesel canola	4,92	0,885	0,33



### 3.2.6.4 Poder calorífico

O poder calorífico dos combustíveis foi determinado com a utilização da bomba calorimétrica modelo e2K seguindo metodologia determinada pelo fabricante, que consistiu em pesar aproximadamente 0,5 g de biodiesel em recipiente adiabático apropriado, o qual foi pressurizado a 3,0 MPa, sendo também acoplado um fio de ignição. Levou-se o recipiente ao calorímetro, o qual, após a configuração, forneceu o valor do poder calorífico superior (PCS) do combustível em  $\text{kJ kg}^{-1}$ . O poder calorífico inferior (PCI) foi calculado segundo a Equação 11, resultando na Tabela 18.

$$PCI = PCS - 3,052 \quad (11)$$

Onde:

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

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

Tabela 18. Poder calorífico dos combustíveis

Diesel/ Biodiesel	PCS	PCI
	(MJ $\text{kg}^{-1}$ )	
D100	45,468	42,416
B005	44,188	41,136
B010	43,895	40,843
B015	43,601	40,549
B020	43,316	40,264
B050	41,472	38,420
B100	38,761	35,709

### 3.2.7 Blendas utilizadas no experimento

O experimento foi realizado em três etapas:

- Na primeira etapa utilizou-se somente o combustível diesel A-S10 (diesel mineral puro – D100) para todas as cargas resistivas.

- Na segunda etapa utilizou-se as blendas de biodiesel de Canola e diesel A-S10 (B005, B010, B015, B020 e B050).

- Na terceira etapa utilizou-se o biodiesel de canola puro, sem adição de diesel mineral (B100).

## 4 RESULTADOS

Os valores obtidos para os dados coletados foram organizados de diferentes formas, visando permitir uma melhor interpretação, na qual foram utilizadas as médias das emissões para cada carga resistiva e também para cada mistura de combustível avaliado. Os dados das figuras e das tabelas foram apresentados de forma crescente de valores para melhor visualização.

Os dados das emissões de gases obtidos foram submetidos à análise de variância para os tratamentos com 5% de significância, sendo realizada a comparação entre as médias dos tratamentos, utilizando o teste Tukey, objetivando identificar quais médias diferem entre si. Para esta análise estatística, foi utilizado o software livre Sisvar 5.7.

### 4.1 Energia gerada pelo conjunto motor gerador

A Figura 32 demonstra as médias de energia gerada conforme a porcentagem de diesel e biodiesel de canola. Em todos os combustíveis testados, a energia gerada se manteve estável e crescente, mesmo com o aumento da carga.

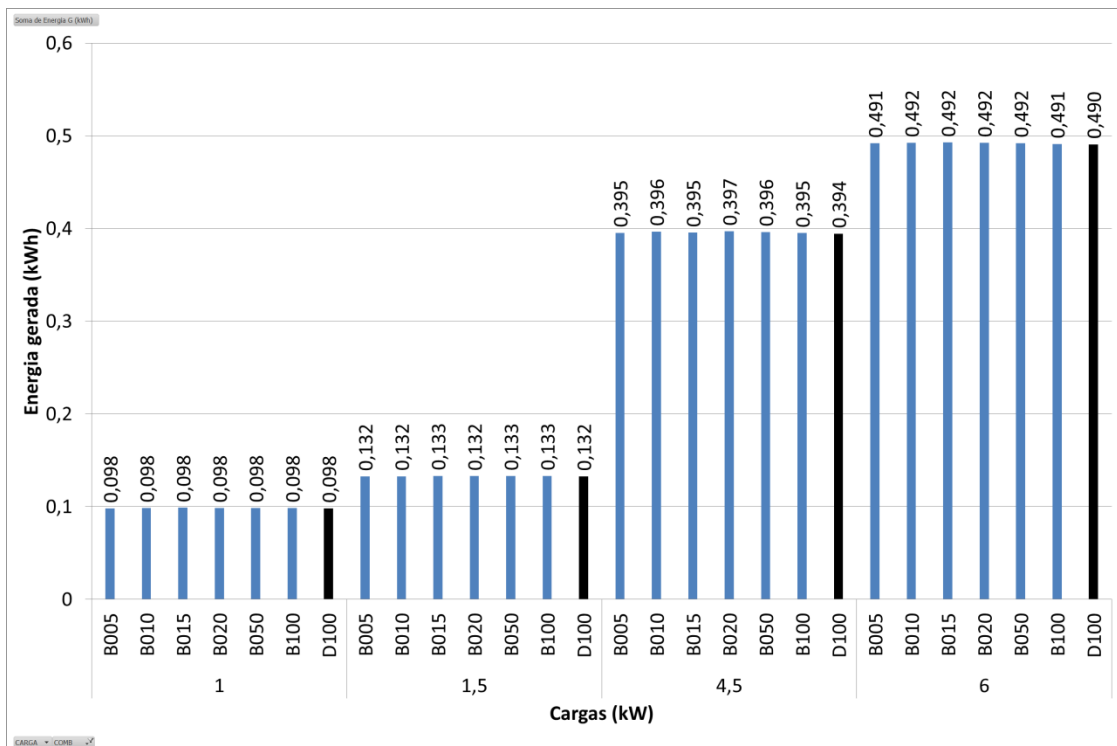


Figura 32. Energia gerada em função das cargas e blends.

## 4.2 Consumo específico de combustível apresentado pelo conjunto motor gerador

O comportamento do consumo específico (CE) do motor em função da variação de carga aplicada ao gerador elétrico pode ser observado na Figura 33, na qual o CE é maior quando as cargas são relativamente baixas (1,0 e 1,5 kW). Utilizando o óleo diesel mineral AS-10 (D100), as médias do CE do conjunto motor gerador foram ligeiramente menores, comparadas às misturas com biodiesel B005, B010, B015, B020, B050 e B100. Em outros estudos, Da Silva et al. (2012) e Gharehghani, Mirsalim e Hosseini (2017) também observaram comportamentos semelhantes ao adicionar biodiesel com diesel, cujo consumo específico aumentou para maiores proporções de mistura. As misturas biodiesel-diesel e o diesel mineral AS-10 apresentaram comportamento semelhante, com redução do consumo específico para as cargas 1,0; 1,5 e 4,5 kW e um pequeno aumento para a carga de 6 kW. Este comportamento (redução no CE e aumento nas cargas finais) também foi observado para as suas misturas testadas nos estudos realizados por (Simsek, 2020).

Entre as blendas estudadas, a que resultou no melhor CE foi B010 (Figura 33) quando aplicada a carga nominal de 4,5 kW, apresentando um CE de 345,30 g kW<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Enquanto o CE do diesel D100 para a mesma carga apresentou 342,27 g kW<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Já na mistura B100, foi registrado um CE de 430,33 g kW<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Segundo XUE et al. (2011) em trabalhos semelhantes, quando aplicado biocombustível em motores diesel, o CE do biodiesel foi maior, e a redução do CE foi possível quando se diminuiu a mistura de biodiesel ao diesel convencional.

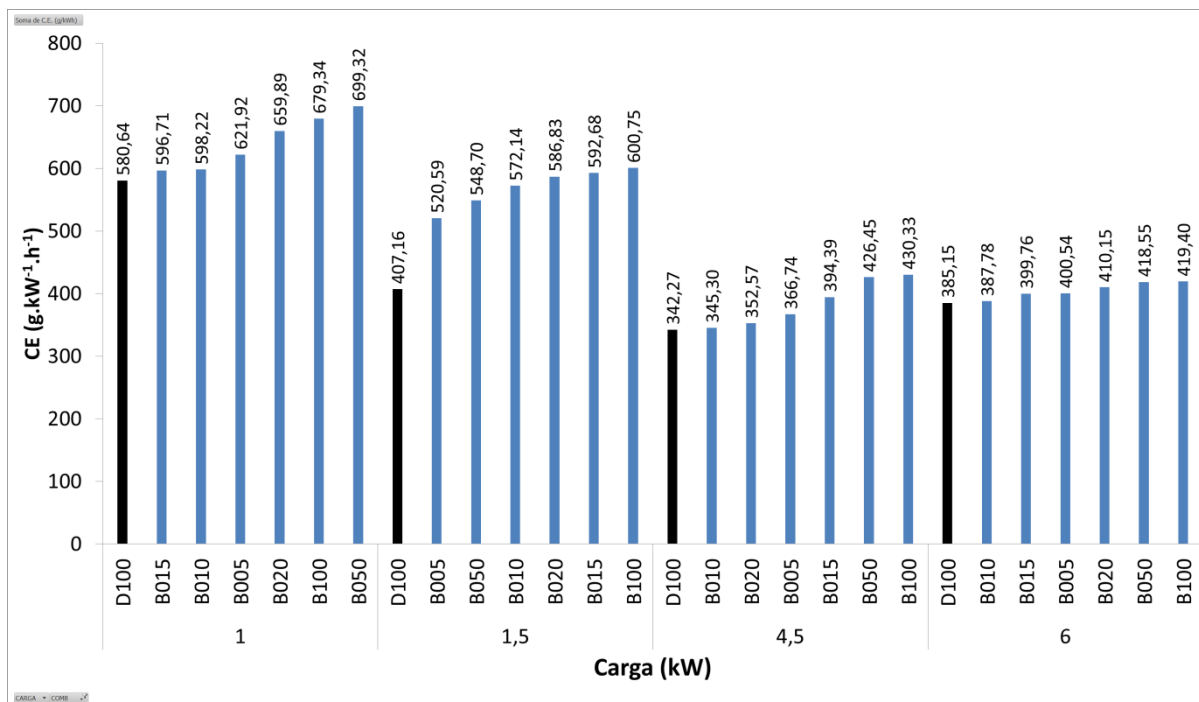


Figura 33. Consumo específico dos combustíveis para as cargas testadas.

Os valores médios de CE para as cargas resistivas de 1,0; 1,5; 4,5 e 6,0 kW, respectivamente, podem ser observados na Tabela 19. O CE superior apresentado ocorreu na mistura do B050 para a menor carga (1,0 kW), com valores de 699,32 g kW<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, enquanto o consumo inferior do CE ocorreu na carga de 4,5 kW com 345,30 g kW<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> quando abastecido com combustível B010.

Serdar, Can e Ozt (2017) relatam em seus estudos com misturas de biodiesel de canola (5, 10, 15 e 20% em volume) ao óleo diesel, que quando aplicadas em um motor monocilindrico com variações de cargas, encontrando aumento do CE com o aumento da proporção do combustível, o que corrobora com os estudos realizados no presente trabalho.

Tabela 19. Consumo específico dos combustíveis em função da variação de carga aplicada ao gerador elétrico

Carga 1,0 kW			Carga 1,5 kW			Carga 4,5 kW			Carga 6,0 kW		
Comb	C.E. (g/kWh)	%	Comb	C.E. (g/kWh)	%	Comb	C.E. (g/kWh)	%	Comb	C.E. (g/kWh)	%
D100	580,64		D100	407,16		D100	342,27		D100	385,15	
B015	596,71	2,69	B005	520,59	21,79	B010	345,30	0,88	B010	387,78	0,68
B010	598,22	2,94	B050	548,70	25,79	B020	352,57	2,92	B015	399,76	3,65
B005	621,92	6,64	B010	572,14	28,84	B005	366,74	6,67	B005	400,54	3,84
B020	659,89	12,01	B020	586,83	30,62	B015	394,39	13,21	B020	410,15	6,09
B100	679,34	14,53	B015	592,68	31,30	B050	426,45	19,74	B050	418,55	7,98
B050	699,32	16,97	B100	600,75	32,22	B100	430,33	20,46	B100	419,41	8,17

Comb: Porcentagem de mistura de biodiesel de canola e óleo diesel A-S10.

#### 4.3 Os efeitos da adição de biodiesel ao diesel nas emissões dos gases de exaustão do motor gerador

O óxido nitroso (NO<sub>x</sub>) é composto por monóxido de nitrogênio (NO) associado com dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>). Sua formação é comum em motores alimentados por combustível diesel, sendo um fenômeno complexo, e depende de três fatores importantes: temperatura de combustão, concentração de oxigênio e atraso da ignição (QI et al., 2010). Segundo os mesmos autores, as emissões de NO<sub>x</sub> do biodiesel e suas misturas são ligeiramente maiores do que as do combustível diesel mineral. Essa diferença de emissão de NO<sub>x</sub> entre o óleo diesel e o biodiesel e suas misturas não é superior a 100 ppm, o que mostra compatibilidade no presente trabalho realizado e pode ser observado na Figura 34, na qual se registra a variação de NO<sub>x</sub> em relação à energia desenvolvida nas cargas. Pode-se observar, ainda, que conforme a carga foi elevada, a emissão de NO<sub>x</sub> aumentou.

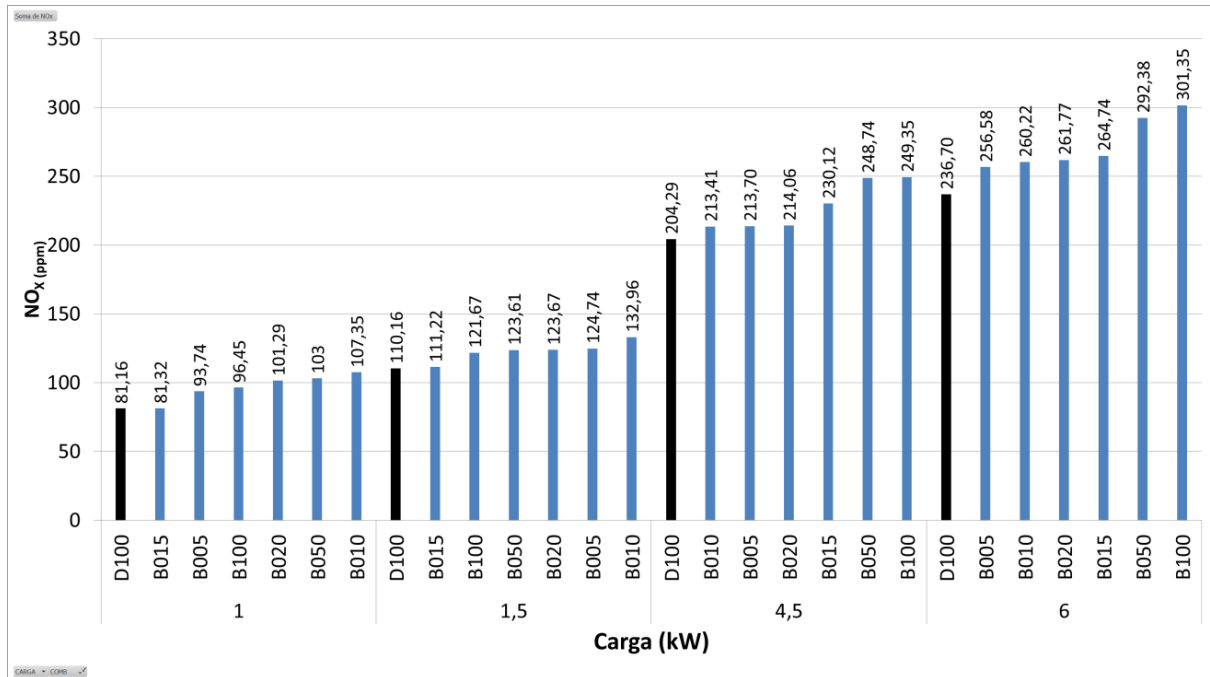


Figura 34. Emissões de NO<sub>x</sub> para os combustíveis avaliados nos estudos.

Na Tabela 20 podem ser observados os resultados referentes às emissões de NO<sub>x</sub>. A menor emissão média de NO<sub>x</sub> foi observada quando o motor utilizou o combustível B015, apresentando 81,32 ppm, que é o mais próximo da emissão do diesel com 81,16 ppm quando aplicada a carga de 1kW. Enquanto as maiores emissões de NO<sub>x</sub> foram registrados para as cargas superiores, chegando a 249,35 ppm e 301,35 ppm com B100 respectivamente para as cargas de 4,5 e 6,0 kW. Já o diesel D100 apresentou 204,29 ppm e 236,71 ppm para as mesmas cargas. Diversos autores relatam aumento nas emissões de NO<sub>x</sub> com aumento da carga e misturas de biodiesel ao diesel mineral (SERDAR; CAN; OZT, 2017; DHARMA et al., 2017; MOHAMMAD et al., 2017).

Tabela 20. Emissões de óxidos nitrosos em função da variação de carga aplicada ao gerador elétrico

CARGA 1,0kW			CARGA 1,5kW			CARGA 4,5kW			CARGA 6,0kW		
Comb	NOx (ppm)	%	Comb	NOx (ppm)	%	Comb	NOx (ppm)	%	Comb	NOx (ppm)	%
D100	81,16		D100	110,16		D100	204,29		D100	236,71	
B015	81,32	0,20	B015	111,23	0,97	B010	213,42	4,47	B005	256,58	8,39
B005	93,74	15,50	B100	121,68	10,45	B005	213,71	4,61	B010	260,23	9,93
B100	96,45	18,84	B050	123,61	12,21	B020	214,06	4,78	B020	261,77	10,59
B020	101,29	24,80	B020	123,68	12,27	B015	230,13	12,65	B015	264,74	11,84
B050	103,00	26,91	B005	124,74	13,24	B050	248,74	21,76	B050	292,39	23,52
B010	107,35	32,27	B010	132,97	20,70	B100	249,35	22,06	B100	301,35	27,31

Comb: Porcentagem de mistura de biodiesel de canola e óleo diesel A-S10.

As emissões de monóxido de carbono (CO) dependem da quantidade de oxigênio (O<sub>2</sub>), conteúdo de carbono, tipo de combustível, carga do motor e velocidade. Durante o processo de combustão, o carbono presente no combustível sofre uma série de reações de oxidação e redução. O conteúdo de carbono do combustível oxida com o oxigênio presente no ar em CO e, posteriormente, em dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Se houver uma menor disponibilidade de oxigênio, isso causará a combustão incompleta do combustível e, portanto, a liberação de CO (MOHAMMAD et al., 2017).

A Tabela 21 apresenta os dados da análise estatística do NOx para as blendas dos combustíveis testados, onde as médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey.

Tabela 21. Análise estatística NOx

Tratamento	1,0 kW		1,5 kW		4,5 kW		6,0 kW	
B005	93.74	c	124.74	b	213.71	c	256.58	e
B010	107.35	a	132.97	a	213.42	c	260.23	de
B015	81.32	d	111.23	d	230.13	a	264.74	c
B020	101.29	b	123.68	bc	214.06	c	261.77	ce
B050	103.00	b	123.61	bc	248.74	a	292.39	b
B100	96.45	c	121.68	c	249.35	a	301.35	a
D100	81.16	d	110.16	d	204.29	c	236.71	f
	CV(%)	5.63	CV(%)	3.22	CV(%)	6.81	CV(%)	2.39

Considerando-se as emissões de CO (Figura 35 e Tabela 22), o uso de biodiesel e suas misturas em óleo diesel mineral AS-10 resultou em uma redução média de 45,15; 48,66; 58,03 e 36,97 % ao abastecer com o B100, para as cargas

1,0; 1,5; 4,5 e 6,0 kW, respectivamente. Os resultados para as emissões de CO são consistentes com a maioria da literatura (KARTHICKEYAN et al., 2019; OGUNKUNLE; AHMED, 2020; RAMAN et al., 2019). Isso também indica uma melhora na eficiência de combustão devido à inclusão de oxigênio na estrutura do biodiesel (GILL et al., 2012).

Em relação às emissões de CO em motores de combustão interna por compressão, essas emissões são determinadas principalmente pela razão de equivalência entre combustível/ar. Sendo assim, a disponibilidade de oxigênio no biodiesel pode permitir que mais moléculas de carbono oxidem em comparação com o combustível diesel convencional nas condições normais de operação do motor (ÖZENER et al., 2014).

Como pode ser observado na Figura 35, o biodiesel produziu menores emissões de CO em comparação com diesel mineral AS-10 (D100) em quase todas as cargas aplicadas ao motor. Particularmente, as taxas de redução de emissão de CO foram mais evidentes quando o biodiesel foi usado em cargas mais elevadas, chegando à redução de 58,03% para o combustível B100 quando aplicada a carga de 4,5 kW, apresentados na Tabela 22.

Neste estudo, em média, as emissões de CO diminuíram 45,15; 48,66 e 58,03% com o uso do biodiesel de canola B100 para as cargas 1,0; 1,5 e 4,5 kW, respectivamente, apresentando resultados semelhantes conforme Öztürk (2015).

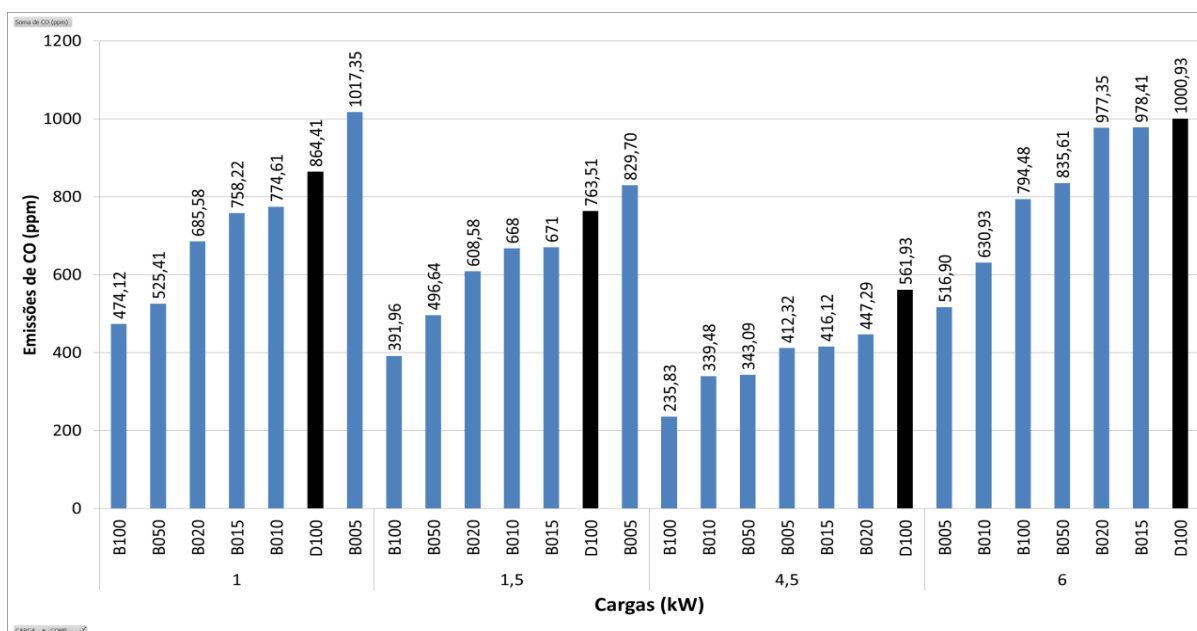


Figura 35. Emissões de monóxido de carbono para os combustíveis avaliados.



Tabela 22. Emissões de monóxido de carbono (CO) para os combustíveis avaliados de acordo com a variação de carga aplicada ao gerador elétrico

CARGA 1,0 kW			CARGA 1,5 kW			CARGA 4,5 kW			CARGA 6,0 kW		
Comb	CO (ppm)	%	Comb	CO (ppm)	%	Comb	CO (ppm)	%	Comb	CO (ppm)	%
D100	864,41		D100	763,51		D100	561,93		D100	1000,93	
B100	474,12	-45,15	B100	391,96	-48,66	B100	235,83	-58,03	B005	516,90	-48,36
B050	525,41	-39,22	B050	496,64	-34,95	B010	339,48	-39,59	B010	630,93	-48,36
B020	685,58	-20,69	B020	608,58	-20,29	B050	343,09	-38,94	B100	794,48	-36,97
B015	758,22	-12,28	B010	668,00	-12,51	B005	412,32	-26,62	B050	835,61	-20,63
B010	774,61	-10,39	B015	671,00	-12,12	B015	416,12	-25,95	B020	977,35	-16,52
B005	1017,35	15,03	B005	829,70	7,98	B020	447,29	-20,40	B015	978,41	-2,36

Comb: Porcentagem de mistura de biodiesel de canola e óleo diesel A-S10.

Simsek (2020) também encontrou valores de reduções de monóxido de carbono (CO) semelhantes, após testar o biodiesel a partir do óleo de canola, e obteve redução aproximada de 50% em relação aos combustíveis diesel com baixo e ultrabaixo teor de enxofre, corroborando com os dados encontrados no presente trabalho.

A Tabela 23 apresenta os dados da análise estatística do CO para as blendas dos combustíveis testados, onde as médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de tukey.

Tabela 23. Análise estatística CO

Tratamento	1,0 kW		1,5 kW		4,5 kW		6,0 kW	
B005	1017.35	a	829.70	a	412.32	c	516.90	c
B010	774.61	c	668.00	c	339.48	d	630.93	c
B015	758.22	c	671.00	c	416.12	c	978.41	a
B020	685.58	d	608.58	d	447.29	b	977.35	a
B050	525.41	e	496.64	e	343.09	d	835.61	b
B100	474.12	f	391.96	f	235.83	e	794.48	b
D100	864.41	b	763.51	b	561.93	a	1000.93	a
	CV(%)	6.3	CV(%)	4.11	CV(%)	10.56	CV(%)	18.82

As variações das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para todas as cargas e os diferentes combustíveis testados podem ser observados na Figura 36. Para motores a diesel, um dos parâmetros que determina o desempenho de combustão de determinado combustível será a emissão de CO<sub>2</sub>, indicando que o hidrocarboneto atingiu sua combustão completa (ERDO, 2020). A emissão de

monóxido de carbono (CO) depende do conteúdo de oxigênio, do conteúdo de carbono e da eficiência de combustão do combustível aplicado ao motor. Durante a combustão, o carbono presente no combustível sofre reações de oxidação e redução. O teor de carbono contido no combustível oxida com o oxigênio presente no ar produzindo CO e, posteriormente, em CO<sub>2</sub>. Se houver menor disponibilidade de oxigênio, isso causará a combustão incompleta do combustível utilizado, liberando, conseqüentemente, maiores taxas de CO (SAKTHIVEL et al., 2014).

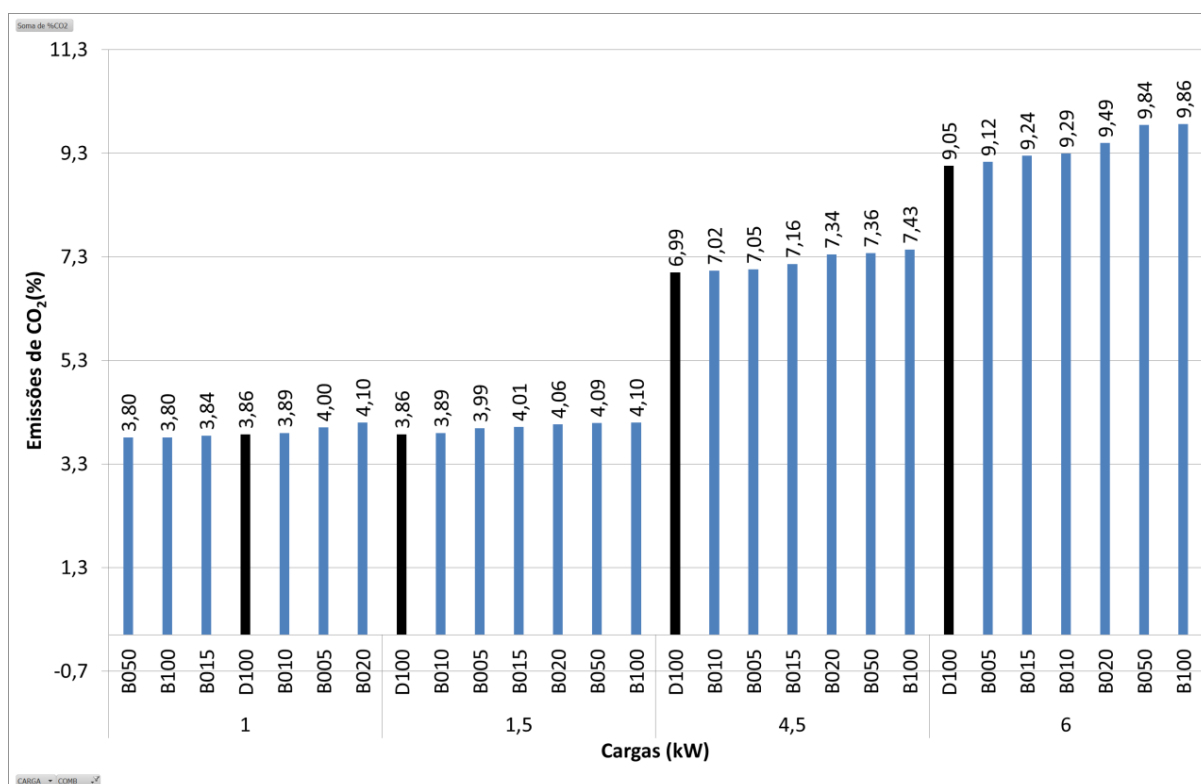


Figura 36. Emissões de dióxido de carbono para os combustíveis testados.

No entanto, as formações de CO e CO<sub>2</sub> para os combustíveis testados indicaram níveis diferentes em relação à carga aplicada ao motor, sendo a redução das emissões de CO mais evidente, enquanto o CO<sub>2</sub> permaneceu pouco expressivo quando comparado ao diesel mineral AS-10 (D100).

A Tabela 24 apresenta os dados da análise estatística do CO<sub>2</sub> para as blendas dos combustíveis testados, onde as médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de tukey.

Tabela 24. Análise estatística CO<sub>2</sub>

Tratamento	1,0 kW		1,5 kW		4,5 kW		6,0 kW	
B005	4.00	b	3.99	c	7.05	cb	9.12	cd
B010	3.89	c	3.89	a	7.02	c	9.29	c
B015	3.84	d	4.01	c	7.16	b	9.24	cd
B020	4.10	a	4.06	b	7.34	a	9.49	b
B050	3.80	e	4.09	ab	7.36	a	9.84	a
B100	3.80	e	4.10	a	7.43	a	9.86	a
D100	3.86	d	3.86	a	6.99	c	9.05	d
	CV (%)	0.89	CV (%)	0.88	CV (%)	1.94	CV (%)	2.69

A variação da temperatura dos gases de escape emitida pelo motor gerador em relação à energia desenvolvida nas cargas para os combustíveis testados pode ser observada na Figura 37, onde o aumento é proporcional à elevação das cargas aplicadas ao sistema. As maiores temperaturas registradas foram para o combustível diesel com 248,25; 260,70; 413,19 e 536,48 °C para as cargas de 1,0 1,5 4,5 e 6 kW respectivamente.

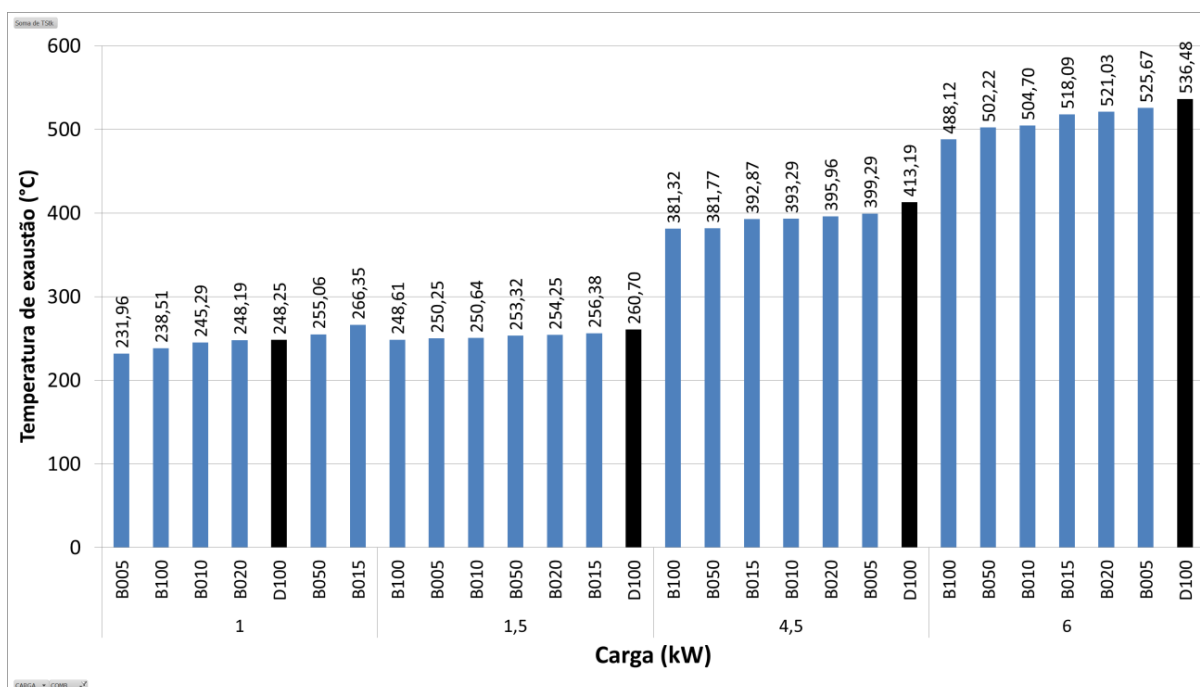


Figura 37. Temperatura de gases de exaustão

#### 4.4 Eficiência energética

A eficiência na conversão da energia química do combustível em energia elétrica no conjunto motor gerador foi medida para as seis proporções de mistura de biodiesel e para o diesel, aplicadas para todas as cargas resistivas testadas (Figura

38).

O máximo de eficiência obtido para o motor gerador foi 25,52%, operando com a carga efetiva de 4,5 kW e utilizando biodiesel B010. Os melhores resultados de eficiência do conjunto motor gerador para as misturas com biodiesel foram com as misturas B010 e B020, obtendo-se 25,52 e 25,35% operando com a carga efetiva de 4,5 kW. Quando o conjunto utilizou as misturas combustíveis B005, B010, B015 e B020 para a carga de 6,0 kW, houve tendência de redução na eficiência em relação à carga anterior (4,5kW), podendo ser observada na Figura 38 e Tabela 25.

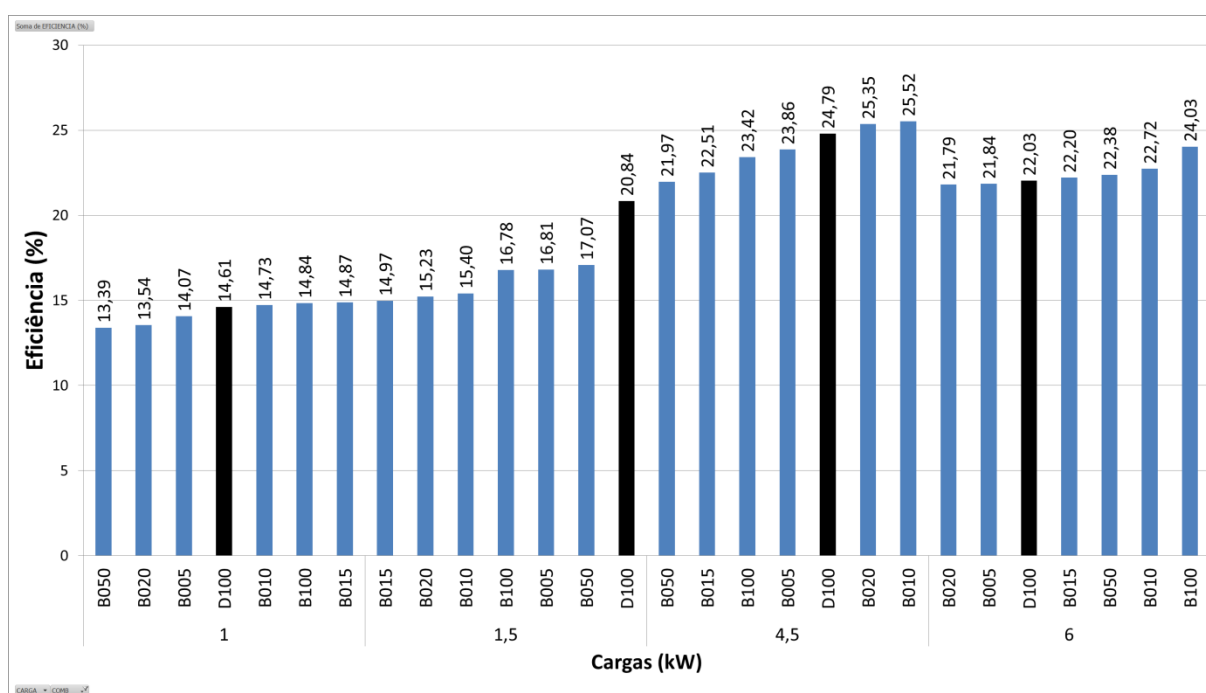


Figura 38. Eficiência de energia gerada pelo conjunto motor gerador.

Tabela 25. Eficiência energética

CARGA 1,0kW		CARGA 1,5kW		CARGA 4,5kW		CARGA 6,0kW	
Comb	E.E. (%)	Comb	E.E. (%)	Comb	E.E. (%)	Comb	E.E. (%)
D100	14,61	D100	20,84	D100	24,79	D100	22,03
B050	13,39	B015	14,97	B050	21,97	B020	21,79
B020	13,54	B020	15,23	B015	22,51	B005	21,84
B005	14,07	B010	15,40	B100	23,42	B015	22,20
B010	14,73	B100	16,78	B005	23,86	B050	22,38
B100	14,84	B005	16,81	B020	25,35	B010	22,72
B015	14,87	B050	17,07	B010	25,52	B100	24,03

## 5 CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados, pode-se verificar que a energia gerada pelo sistema do motor gerador foi superior quando aplicada a carga de 6 kW, independente da blenda utilizada como combustível.

O Consumo Específico (CE) apresenta relação inversamente proporcional com as cargas resistivas, porém com decréscimos cada vez menores, conforme ocorre o aumento da carga. Houve aumento do CE à medida que aumentou a quantidade de biodiesel na mistura com o diesel, apresentando uma tendência decrescente no CE para as cargas de 1,0; 1,5 e 4,5 kW, e a tendência foi crescente para a carga de 6,0 kW. Ao utilizar biodiesel B100 no motor diesel, o CE aumentou quando comparado com o diesel mineral tipo A. Com o acréscimo de cargas resistivas, o biodiesel apresenta um CE mais próximo do diesel, indicando que sua utilização em operações mais próximas da capacidade nominal é mais eficiente.

As emissões de CO e CO<sub>2</sub> são inversamente proporcionais, enquanto as emissões de CO<sub>2</sub> aumentam com a elevação de carga, o CO tende a reduzir com o aumento de carga. Os resultados indicam que o biodiesel pode ser utilizado sem nenhuma modificação do motor e como combustível alternativo e ecologicamente correto. Porém, os testes indicam um aumento nas emissões de NO<sub>x</sub>, quando comparadas ao diesel. Os valores também indicam que as emissões de NO<sub>x</sub> são influenciadas pelo aumento de carga e pela composição da mistura de biodiesel.

Levando-se em consideração os valores encontrados para os dados de emissões do motor gerador e as cargas aplicadas durante os experimentos, observa-se que o uso de sistemas alimentados por biocombustível como o biodiesel não apresenta significativas reduções de CO<sub>2</sub>, porém como o CO<sub>2</sub> emitido faz parte do ciclo da fotossíntese por ser de origem de culturas oleaginosas, as emissões globais não são aumentadas em comparação com o diesel mineral.

A eficiência energética do conjunto motor gerador obteve seu melhor resultado quando aplicada a carga de 4,5 kW, mostrando que cargas maiores podem ocasionar aumento de consumo de combustível.

Com base nos dados coletados (CE, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub> e EE), vistas as metas de reduções dos gases de efeito estufa mundialmente acordados, o sistema utilizando biodiesel de canola, adicionado ao diesel de origem mineral na proporção de 10% (B010) quando aplicada a carga resistiva de 4,5 kW (75% da carga

nominal), apresentou as menores emissões, menor consumo e maior eficiência do sistema de geração de energia para o motor gerador utilizado.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O motor gerador aplicado nos estudos apresenta em seu manual como potência contínua 7,5 kVA (potência aparente), considerando que a maior carga aplicada foi de 6,0 kW (potência ativa), temos um fator de potência de aproximadamente 0,8, porém, o fabricante não apresenta essa informação nos manuais consultados.

Com a estrutura desenvolvida por este estudo deixado para o laboratório serão possíveis novas pesquisas dentro da mesma temática através de outras culturas oleaginosas, que possibilitarão variados resultados, contribuindo ainda mais na produção de energia sustentável, pensando na redução do uso de combustíveis com base de petróleo.

O trabalho demonstrou que o óleo de canola tem grande potencial energético, apresentando resultados de emissões satisfatórios e que essa mistura tem escalabilidade considerando o meio ambiente.

Pensando no pequeno produtor que possui prensa extrusora para fins de produção da torta na alimentação animal, o óleo pode ser um problema ambiental caso não seja corretamente destinado. Desta forma, o óleo transformado em biodiesel pode ser aplicado na produção de energia para a propriedade rural através de um sistema como este que foi apresentado. Oferecendo rentabilidade quando o sistema for conectado à rede de energia da concessionária ou em um sistema desconectado na rede, produzindo sua própria energia, promovendo redução dos custos de energia.

A busca racional e eficiente por processos de energias renováveis não pode ser apenas para estudos técnicos ou em momentos de crise, mas sim, ser ação permanente para garantir o futuro das próximas gerações.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAMIR, M.; PONCELA, J.; ASLAM, M.; CHOWDHRY, U. B. S. Optimal Design of Remote Terminal Unit ( RTU ) for Wireless SCADA System for Energy Management. **Wireless Pers Commun**, New York, v. 69, p. 999–1012, 2013. DOI: 10.1007/s11277-013-1060-9. Disponível em: <http://web-b-ebscohost.ez89.periodicos.capes.gov.br/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=99e69b67-d521-4910-97af-f1a4ccc9f8b3%40pdc-v-sessmgr02>. Acesso em: 15 jul. 2021.
- ABDULLAH, Z. Effect of Pentanol-Diesel Fuel Blends on Thermo-Physical Properties, Combustion Characteristics, Engine Performance and Emissions of a Diesel Engine. **International Journal of Automotive and Mechanical Engineering**, Malaysia, v. 15, n. 3, p. 5435–5450, 2018. Disponível em: <https://journal.ump.edu.my/ijame/article/view/87>. Acesso em: 1 fev. 2021.
- ABOUBAKAR, X.; GOUDOUM, A.; YAYA, B. Optimization of Jatropha curcas pure vegetable oil production parameters for cooking energy. **South African Journal of Chemical Engineering**, Maroua, v. 24, p. 196–212, 2017. DOI: 10.1016/j.sajce.2017.09.002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1026918517300239>. Acesso em: 5 maio. 2020.
- AGARWAL, A. K.; GUPTA, T.; DIXIT, N.; SHUKLA, P. C. Assessment of toxic potential of primary and secondary particulates/ aerosols from biodiesel vis-à-vis mineral diesel fuelled engine. **Inhalation Toxicology**, [S. l.], v. 25, n. 6, p. 325–332, 2013. DOI: 10.3109/08958378.2013.782515. Disponível em: <http://informahealthcare.com/iht>. Acesso em: 15 set. 2021.
- AHMAD, A. L.; YASIN, N. H. M.; DEREK, C. J. C.; LIM, J. K. Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production : A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 15, p. 584–593, 2011. DOI: 10.1016/j.rser.2010.09.018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032110003059>. Acesso em: 5 nov. 2020.
- ALDHAIHAWI, M. et al. Performance and emission of generator Diesel engine using methyl esters of palm oil and diesel blends at different compression ratio. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, [S. l.], v. 147, n. 1, 2016. DOI: 10.1088/1757-899X/147/1/012135. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/journal/1757-899X>. Acesso em: 15 ago. 2021.
- ALDHAIHAWI, M.; CHIRIAC, R.; BADESCU, V. Ignition delay , combustion and emission characteristics of Diesel engine fueled with rapeseed biodiesel – A literature review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Belfast, v. 73, n. November 2015, p. 178–186, 2017. DOI: 10.1016/j.rser.2017.01.129. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.129>. Acesso em: 20 set. 2021.
- ALESSANDRO, B. D.; BIDINI, G.; ZAMPILLI, M.; LARANCI, P.; BARTOCCI, P.; FANTOZZI, F. Straight and waste vegetable oil in engines : Review and experimental measurement of emissions , fuel consumption and injector fouling on a turbocharged commercial engine. **Fuel**, [S. l.], v. 182, p. 198–209, 2016. DOI:



10.1016/j.fuel.2016.05.075. Disponível em:  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2016.05.075>. Acesso em: 19 set. 2021.

ALI, O. M.; MAMAT, R.; ABDULLAH, N. R.; ADAM, A. Analysis of blended fuel properties and engine performance with palm biodiesel e diesel blended fuel. **Renewable Energy**, [S. l.], v. 86, p. 59–67, 2016. DOI: 10.1016/j.renene.2015.07.103. Disponível em:  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.103>. Acesso em: 16 set. 2021.

ALPTEKIN, E. Emission, injection and combustion characteristics of biodiesel and oxygenated fuel blends in a common rail diesel engine. **Energy**, [S. l.], v. 119, p. 44–52, 2017. DOI: 10.1016/j.energy.2016.12.069. Disponível em:  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.12.069>. Acesso em: 29 ago. 2021.

AMARAL, L. C. G. S.; ABREU, Y. V. De. Evolução do Mercado Brasileiro de Biodiesel sob a Ótica dos Leilões Promovidos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 54, n. 4, p. 729–750, 2014. DOI: 10.1590/1234-56781806-94790540408. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1234-56781806-94790540408>. Acesso em: 5 set. 2021.

ANEEL. **AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução normativa no 687, de 24 de novembro de 2015**. Brasília, 2015. Disponível em:  
<https://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: 12 set. 2021.

ANP. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP Nº 40 DE 25/10/2013**. Brasília, 2013. a. Disponível em:  
<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=261207>. Acesso em: 19 jan. 2021.

ANP. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP No 50, DE 23.12.2013**. Brasília, 2013. b. Disponível em:  
<http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2013/dezembro&item=ranp-50--2013&export=pdf>. Acesso em: 1 set. 2021.

ANP. **Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP nº 45, de 25 de agosto de 2014**. Brasília, 2014. Disponível em:  
<https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-45-2014?origin=instituicao&q=45/2014#>. Acesso em: 1 set. 2021.

ANP. **Agencia Nacional do Petroleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel/especificacao-do-biodiesel>. Acesso em: 20 set. 2021.

ASSEFA, Y.; VARA P. P. V.; FOSTER, C.; WRIGHT, Y.; YOUNG, S.; BRADLEY, P.; STAMM, M.; CIAMPITTI, I. A. Major management factors determining spring and winter canola yield in North America. **Crop Science**, Guilford, v. 58, n. 1, p. 1–16, 2018. DOI: 10.2135/cropsci2017.02.0079. Disponível em:  
<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2135/cropsci2017.02.0079>. Acesso em: 17 jan. 2021.

ATMANLI, A.; ILERI, E.; YILMAZ, N. Optimization of diesel e butanol e vegetable oil blend ratios based on engine operating parameters. **Energy**, [S. l.], v. 96, n. 2016, p.

569–580, 2016. DOI: 10.1016/j.energy.2015.12.091. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.091>. Acesso em: 10 set. 2021.

ATTIA, A. M. A.; HASSANEEN, A. E. Influence of diesel fuel blended with biodiesel produced from waste cooking oil on diesel engine performance. **FUEL**, [S. l.], v. 167, p. 316–328, 2016. DOI: 10.1016/j.fuel.2015.11.064. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2015.11.064>. Acesso em: 12 set. 2021.

AZEVEDO, G. T.; JOS, C.; PEIXOTO, T.; BARGOS, F. F.; MENEGATTI, R. Gerador trifásico de baixo custo para o ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 39, p. 7, 2017. DOI: 10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0292. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0292>. Acesso em: 24 fev. 2021.

BARI, S. Performance, combustion and emission tests of a metro-bus running on biodiesel-ULSD blended (B20) fuel. **Applied Energy**, [S. l.], v. 124, p. 35–43, 2014. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.03.007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.03.007>. Acesso em: 10 set. 2021.

BHUIYA, M. M. K.; RASUL, M.; KHAN, M.; ASHWATH, N.; MOFIJUR, M. Comparison of oil extraction between screw press and solvent (n-hexane) extraction technique from beauty leaf (*Calophyllum inophyllum* L.) feedstock. **Industrial Crops & Products**, [S. l.], v. 144, n. May 2019, p. 112024, 2020. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.112024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.112024>. Acesso em: 20 fev. 2021.

BOBOESCU, I. Z.; GHERMAN, V. D.; LAKATOS, G.; PAP, B.; BÍRÓ, T.; MARÓTI, G. Surpassing the current limitations of biohydrogen production systems: The case for a novel hybrid approach. **Bioresource Technology**, [S. l.], v. 204, p. 192–201, 2016. DOI: 10.1016/j.biortech.2015.12.083. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.12.083>. Acesso em: 10 ago. 2021.

BOLTON, W. **Programmable Logic Controllers**. 4. ed. Amsterdam: Elsevier, 2006. 303 p. ISBN 9780750681124.

BOTWINSKA, K.; MRUK, R.; TUCKI, K.; WATA, M. Simulation of fuel demand for wood-gas in combustion engine. **E3S Web of Conferences**, [S. l.], v. 19, p. 1–6, 2017. DOI: 10.1051/e3sconf/20171901018. Disponível em: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2017/07/e3sconf\\_eems2017\\_01018/e3sconf\\_eems2017\\_01018.html](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2017/07/e3sconf_eems2017_01018/e3sconf_eems2017_01018.html). Acesso em: 5 dez. 2020.

BRANCO. **BRANCO MOTORES**. 2019. Disponível em: <https://www.branco.com.br>. Acesso em: 10 jun. 2021.

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia**. Resolução nº 4, de 9 de abril de 2021. Brasília, DF. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/despacho-do-presidente-da-republica-313697367>. Acesso em: 18 maio. 2021.

BRESSAN, R. T. **Análises físico-químicas e otimização da prensagem de crambe em extrusora mecânica sob variações de temperatura e umidade relativa dos grãos**. Orientador: Reginaldo Ferreira Santos. 2018. 92f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura) -

Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2018. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/3572>. Acesso em: 7 set. 2021.

BUYUKKAYA, E. Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance , emission and combustion characteristics. **Fuel**, [S. l.], v. 89, n. 10, p. 3099–3105, 2010. DOI: 10.1016/j.fuel.2010.05.034. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2010.05.034>. Acesso em: 20 jul. 2021.

CAN. **CANopen – The standardized embedded network**. 2021. Disponível em: <https://www.can-cia.org/canopen/>. Acesso em: 20 abr. 2021.

CANAKCI, M. Combustion characteristics of a turbocharged DI compression ignition engine fueled with petroleum diesel fuels and biodiesel. **Bioresource Technology**, [S. l.], v. 98, n. 2, p. 1167–1175, 2007. DOI: 10.1016/j.biortech.2006.05.024. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16822672/>. Acesso em: 6 dez. 2020.

CARLSSON, A. S. Biochimie Plant oils as feedstock alternatives to petroleum – A short survey of potential oil crop platforms. **Biochimie**, [S. l.], v. 91, n. 6, p. 665–670, 2009. DOI: 10.1016/j.biochi.2009.03.021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biochi.2009.03.021>. Acesso em: 21 set. 2021.

CELIK TEN, I.; KOCA, A.; ARSLAN, M. A. Comparison of performance and emissions of diesel fuel , rapeseed and soybean oil methyl esters injected at different pressures. **Renewable Energy**, [S. l.], v. 35, n. 4, p. 814–820, 2010. DOI: 10.1016/j.renene.2009.08.032. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2009.08.032>. Acesso em: 10 mar. 2021.

CHIONG, M. C.; CHONG, C. T.; NG, J. H.; LAM, S. S.; TRAN, M. V.; CHONG, W. W. F.; MOHD J. M. N.; VALERA-MEDINA, A. Liquid biofuels production and emissions performance in gas turbines: A review. **Energy Conversion and Management**, [S. l.], v. 173, n. July, p. 640–658, 2018. DOI: 10.1016/j.enconman.2018.07.082. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.07.082>. Acesso em: 28 ago. 2021.

CHUMPITAZ, G. R. A.; CORONADO, C. J. R.; CARVALHO, J. A.; JOSÉ, J.. Design and study of a pure tire pyrolysis oil (TPO) and blended with Brazilian diesel using Y-Jet atomizer. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, [S. l.], v. 41, n. 3, p. 1–20, 2019. DOI: 10.1007/s40430-019-1632-z. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40430-019-1632-z>. Acesso em: 20 jan. 2021.

COLLE, D. **Avaliação de desempenho energético de um gerador elétrico operando no modo dual, utilizando biogás e blendas de biodiesel de óleo residual de fritura**. Orientador: Samuel Nelson Melegari de Souza. 2018. 59f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2018. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/3783>. Acesso em: 7 set. 2021.

CREDER, H. **Instalações elétricas**. 16. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

DALENOGARE, L. S.; BENITEZ, G. B.; AYALA, N. F.; FRANK, A. G. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. **International Journal of Production Economics**, [S. l.], v. 204, n. July, p. 383–394, 2018. DOI:

10.1016/j.ijpe.2018.08.019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>. Acesso em: 12 fev. 2021.

DASARI, S. R.; BORUGADDA, V. B.; GOUD, V. V. Reactive extraction of castor seeds and storage stability characteristics of produced biodiesel. **Process Safety and Environmental Protection**, Assam, v. 100, p. 252–263, 2016. DOI: 10.1016/j.psep.2016.01.019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2016.01.019>. Acesso em: 15 mar. 2021.

DE FARIAS, A. C. M.; DE MEDEIROS, J. T. N.; ALVES, S. M. Micro and nanometric wear evaluation of metal discs used on determination of biodiesel fuel lubricity. **Materials Research**, Natal, v. 17, p. 89–99, 2014. DOI: 10.1590/S1516-14392014005000101. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392014005000101>. Acesso em: 15 maio. 2021.

DELALIBERA, H. C. **Desempenho de motor diesel alimentado com óleo vegetal**. 2016. Tese - Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016. Disponível em: [http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UEL\\_8b137e0a58e28bff9c0b9ddf0cdb92f0](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UEL_8b137e0a58e28bff9c0b9ddf0cdb92f0). Acesso em: 25 mar. 2021.

DEMIRBAS, A.; ALIDRISI, H. Optimization of Saudi Petroleum consumption along with reasonable prices. **Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy**, [S. l.], v. 11, n. 12, p. 1158–1165, 2016. DOI: 10.1080/15567249.2015.1037937. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/15567249.2015.1037937>. Acesso em: 9 set. 2021.

DEMIRBAS, A. Progress and recent trends in biodiesel fuels. **Energy Conversion and Management**, [S. l.], v. 50, n. 1, p. 14–34, 2009. DOI: 10.1016/j.enconman.2008.09.001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2008.09.001>. Acesso em: 5 set. 2021.

DHARMA, S.; HAJI, M.; CHYUAN, H.; HANRA, A. Experimental study and prediction of the performance and exhaust emissions of mixed *Jatropha curcas*-*Ceiba pentandra* biodiesel blends in diesel engine using artificial neural networks. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 164, p. 618–633, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.06.065. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.065>. Acesso em: 1 dez. 2020.

DU, E.; CAI, L.; HUANG, K.; TANG, H.; XU, X.; TAO, R. Reducing viscosity to promote biodiesel for energy security and improve combustion efficiency. **Fuel**, [S. l.], v. 211, n. September 2017, p. 194–196, 2018. DOI: 10.1016/j.fuel.2017.09.055. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236117311651>. Acesso em: 2 nov. 2020.

EATON. **XV-102 Touch display**. 2019. Disponível em: <http://www.eaton.eu/aftersales>. Acesso em: 10 dez. 2020.

EL-HAMIDI, M.; ZAHER, F. A. Production of vegetable oils in the world and in Egypt: an overview. **Bulletin of the National Research Centre**, [S. l.], v. 42, n. 1, 2018.

DOI: 10.1186/s42269-018-0019-0. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s42269-018-0019-0>. Acesso em: 4 set. 2021.

EPE. **Mecanismos de Carbono**. 2018. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-457/14.Mecanismos de Carbono.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-457/14.Mecanismos%20de%20Carbono.pdf). Acesso em: 26 ago. 2021.

EPE. **Empresa de Pesquisa Energética**. 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2019>. Acesso em: 22 set. 2021.

EPE. **Empresa de Pesquisa Energética**. 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 10 jan. 2021.

ERDO, S. Performance, emission and combustion characteristic assessment of biodiesels derived from beef bone marrow in a diesel generator. **Energy**, [S. l.], v. 207, n. x, p. 118300, 2020. DOI: 10.1016/j.energy.2020.118300. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544220314079>. Acesso em: 5 mar. 2021.

FALASCA, S. L.; FLORES, N.; LAMAS, M. C.; CARBALLO, S. M.; ANSCHAU, A. Crambe abyssinica: An almost unknown crop with a promissory future to produce biodiesel in Argentina. **International Journal of Hydrogen Energy**, [S. l.], v. 35, n. 11, p. 5808–5812, 2015. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2010.02.095. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.02.095>. Acesso em: 29 nov. 2020.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. 2017. Disponível em: <http://faostat.fao.org>. Acesso em: 5 set. 2021.

FOUAD, M. A.; GABER, M.; KNOERZER, K.; PETER, M.; TRUJILLO, F. J.; JULIANO, P.; SHRESTHA, P. Improved canola oil expeller extraction using a pilot-scale continuous flow microwave system for pre-treatment of seeds and flaked seeds. **Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 284, n. December 2019, p. 110053, 2020. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110053. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110053>. Acesso em: 1 abr. 2021.

GABRIEL F., A.; LANÇAS, K. P.; LEITE, F.; ACOSTA, J. J. B.; JESUINO, P. R. Desempenho de trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S. l.], v. 14, n. 3, p. 333–339, 2010. DOI: 10.1590/s1415-43662010000300015. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br>. Acesso em: 20 set. 2021.

GHAREHGHANI, A.; MIRSAALIM, M.; HOSSEINI, R. Effects of waste fish oil biodiesel on diesel engine combustion characteristics and emission. **Renewable Energy**, Tehran, v. 101, p. 930–936, 2017. DOI: 10.1016/j.renene.2016.09.045. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.09.045>. Acesso em: 20 dez. 2020.

GILL, S. S.; TSOLAKIS, A.; HERREROS, J. M.; YORK, A. P. E. Diesel emissions improvements through the use of biodiesel or oxygenated blending components. **Fuel**, [S. l.], v. 95, p. 578–586, 2012. DOI: 10.1016/j.fuel.2011.11.047. Disponível

em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2011.11.047>. Acesso em: 9 maio. 2021.

GONGORA, B. **Desempenho e emissões de motor gerador utilizando biodiesel de cártamo**. Orientador: Samuel Nelson Melegari de Souza. 2021. 62f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2021. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/5364>. Acesso em: 7 set. 2021.

GOOGLE. **Google Earth website**. 2021. Disponível em: <http://earth.google.com>. Acesso em: 1 mar. 2021.

GUERRA, E. P.; FUCHS, W. Biocombustível renovável: uso de óleo vegetal em motores. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 103, 2017. DOI: 10.7213/cienciaanimal.v8i1.10562. Disponível em: <https://periodicos.pucpr.br/index.php/cienciaanimal/article/view/10562>. Acesso em: 21 jun. 2021.

GUSSOW, M. **ELETRICIDADE BASICA**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HASAN, M. M.; RAHMAN, M. M.; KADIRGAMA, K. A review on homogeneous charge compression ignition engine performance using biodiesel–diesel blend as a fuel. **Journal of Chemical Information and Modeling**, Pahang, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2013. DOI: 10.15282/ijame.11.2015.3.0184. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15282/ijame.11.2015.3.0184>. Acesso em: 3 jan. 2021.

HASAN, M. A.; JANIUS, R. B.; RASHID, U.; TAUFIQ-YAP, Y. H.; YUNUS, R.; ZAKARIA, R.; MARIAH, N. Performance and exhaust emission characteristics of direct-injection diesel engine fueled with enriched biodiesel. **Energy Conversion and Management**, Selangor, v. 106, p. 365–372, 2015. DOI: 10.1016/j.enconman.2015.09.050. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2015.09.050>. Acesso em: 1 dez. 2020.

HASSAN, M. H.; KALAM, A.; ATABANI, A. E.; MEMON, L. A.; RAHMAN, S. M. A. Performance and emission analysis of Jatropha curcas and Moringa oleifera methyl ester fuel blends in a multi-cylinder diesel engine. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 65, p. 304–310, 2014. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.08.034. Disponível em: [www.elsevier.com/locate/jclepro](http://www.elsevier.com/locate/jclepro). Acesso em: 9 maio. 2021.

HESSAMI, M.; CAMPBELL, H.; SANGUINETTI, C. A feasibility study of hybrid wind power systems for remote communities. **Energy Policy**, [S. l.], v. 39, n. 2, p. 877–886, 2011. DOI: 10.1016/j.enpol.2010.11.011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2010.11.011>. Acesso em: 22 dez. 2020.

HUANG, G. H.; CHEN, F.; WEI, D.; ZHANG, X. W.; CHEN, G. Biodiesel production by microalgal biotechnology. **Applied Energy**, [S. l.], v. 87, n. 1, p. 38–46, 2010. DOI: 10.1016/j.apenergy.2009.06.016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.06.016>. Acesso em: 25 jan. 2021.

JUSOH, W. N. S. E. W.; GHANI, M. R. Ab; HANAFIAH, M. A. M.; RAMAN, S. H. Remote Terminal Unit ( RTU ) Hardware Design And Development For Distribution Automation System. **IEEE Innovative Smart Grid Technologies**, [S. l.], p. 572–576, 2014. Disponível em: <https://ieeexplore-ieee->

org.ez89.periodicos.capes.gov.br/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6873855. Acesso em: 15 jul. 2021.

KAKATI, J.; GOGOI, T. K. Biodiesel production from Kutkura (*Meyna spinosa* Roxb . Ex .) fruit seed oil: Its characterization and engine performance evaluation with 10 % and 20 % blends. **Energy Conversion and Management**, [S. l.], v. 121, p. 152–161, 2016. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.05.019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.05.019>. Acesso em: 22 maio. 2021.

KALARGARIS, I.; TIAN, G.; GU, S. Experimental evaluation of a diesel engine fuelled by pyrolysis oils produced from low-density polyethylene and ethylene – vinyl acetate plastics. **Fuel Processing Technology**, [S. l.], v. 161, p. 125–131, 2017. DOI: 10.1016/j.fuproc.2017.03.014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2017.03.014>. Acesso em: 20 abr. 2021.

KAMANI, M. H.; ISMAIL, E.; LORENZO, J. M.; REMIZE, F.; ROSELLÓ-SOTO, E.; BARBA, F. J.; CLARK, J. Advances in plant materials, food by-products, and algae conversion into biofuels: use of environmentally friendly technologies. **Royal Society of Chemistry**, [S. l.], v. 21, p. 3213–3231, 2019. DOI: 10.1039/c8gc03860k. Disponível em: [rsc.li/greenchem](http://rsc.li/greenchem). Acesso em: 21 jan. 2021.

KARTHICKEYAN, V.; ASHOK, B.; NANTHAGOPAL, K.; THIYAGARAJAN, S.; GEO, V. E. Investigation of novel Pistacia khinjuk biodiesel in DI diesel engine with post combustion capture system. **Applied Thermal Engineering**, [S. l.], v. 159, n. February, p. 113969, 2019. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2019.113969. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.113969>. Acesso em: 9 jan. 2021.

KIM, B.; LEE, D.; CHOI, T. Performance evaluation for Modbus/TCP using Network Simulator NS3. **IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON**, Macao, v. 2016- Janua, 2016. DOI: 10.1109/TENCON.2015.7372904. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7372904>. Acesso em: 21 abr. 2021.

KRAHL, J.; KNOTHE, G.; MUNACK, A.; RUSCHEL, Y.; SCHRÖDER, O.; HALLIER, E.; WESTPHAL, G.; BÜNGER, J. Comparison of exhaust emissions and their mutagenicity from the combustion of biodiesel , vegetable oil , gas-to-liquid and petrodiesel fuels. **Fuel**, Coburg, v. 88, n. 6, p. 1064–1069, 2009. DOI: 10.1016/j.fuel.2008.11.015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2008.11.015>. Acesso em: 20 dez. 2020.

KUSUMO, F.; SILITONGA, A. S.; MASJUKI, H. H.; CHYUAN, H.; SISWANTORO, J.; MAHLIA, T. M. I. Optimization of transesterification process for Ceiba pentandra oil: A comparative study between kernel-based extreme learning machine and artificial neural networks. **Energy**, [S. l.], v. 134, p. 24–34, 2017. DOI: 10.1016/j.energy.2017.05.196. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.196>. Acesso em: 20 maio. 2021.

LANJEKAR, R. D.; DESHMUKH, D. Experimental and numerical investigations on spray characteristics of fatty acid methyl esters. **Royal Society of Chemistry**, Indore, v. 5, n. 2, p. 5565, 2018. DOI: 10.1098/rsos.171121. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.171121>. Acesso em: 29 ago. 2021.

LAPUERTA, M.; SÁNCHEZ-VALDEPEÑAS, J.; BOLONIO, D.; SUKJIT, E. Effect of fatty acid composition of methyl and ethyl esters on the lubricity at different humidities. **Fuel**, [S. l.], v. 184, p. 202–210, 2016. DOI: 10.1016/j.fuel.2016.07.019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2016.07.019>. Acesso em: 15 nov. 2020.

LEE, I.; LEE, K. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. **Business Horizons**, Macomb, v. 58, n. 4, p. 431–440, 2015. DOI: 10.1016/j.bushor.2015.03.008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bushor.2015.03.008>. Acesso em: 2 dez. 2020.

LEE, J.; YOO, M.; CHA, K.; WON, T.; HUR, T. Life cycle cost analysis to examine the economical feasibility of hydrogen as an alternative fuel. **International Journal of Hydrogen Energy**, [S. l.], v. 34, n. 10, p. 4243–4255, 2009. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2009.03.012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.03.012>. Acesso em: 26 ago. 2021.

LEITE, D. **Desempenho e Emissões de Motor Gerador Operando com Blendas de Diesel/Óleo de Soja, Diesel/Óleo de Linhaça e Diesel/Óleo de Crambe**. Orientador: Reginaldo Ferreira Santos. 2018. 70f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2018. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/3779>. Acesso em: 7 set. 2021.

LEWANDOSKI, C. F. **Automação 4.0 de prensa extrusora e aplicação energética em óleo e torta de crambe**. Orientador: Reginaldo Ferreira Santos. 2019. 85f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2019. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/4592>. Acesso em: 7 set. 2021.

LIU, Z.; LI, F.; SHEN, J.; WANG, H. Effect of oxidation of Jatropha curcas-derived biodiesel on its lubricating properties. **Energy for Sustainable Development**, [S. l.], v. 52, p. 33–39, 2019. DOI: 10.1016/j.esd.2019.06.003. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2019.06.003>. Acesso em: 1 set. 2021.

MALODE, S. J.; PRABHU, K. K.; MASCARENHAS, R. J.; SHETTI, N. P.; AMINABHAVI, T. M. Recent advances and viability in biofuel production. **Energy Conversion and Management: X**, [S. l.], v. 10, n. December 2020, p. 100070, 2021. DOI: 10.1016/j.ecmx.2020.100070. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2020.100070>. Acesso em: 1 set. 2021.

MARTINS, D. L. **Arquitetura de controladores Fuzzy em redes Foundation Fieldbus**. Orientador: Adrião Duarte Dória Neto. 2011. 93f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/15352>. Acesso em: 20 jan. 2021.

MODBUS. **Modbus Application Protocol Specification**. 2021. Disponível em: <https://modbus.org/>. Acesso em: 20 jan. 2021.

MOHAMMAD, S.; MIRI, R.; REZA, S.; SEYEDI, M.; GHOBADIAN, B. Effects of



biodiesel fuel synthesized from non-edible rapeseed oil on performance and emission variables of diesel engines. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 142, p. 3798–3808, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.10.082. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.082>. Acesso em: 22 jul. 2021.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial**. 4. ed. Rio de Janeiro. 2010.

MÜLLER, J. M.; BULIGA, O.; VOIGT, K. I.. Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. **Technological Forecasting and Social Change**, [S. l.], v. 132, n. January, p. 2–17, 2018. DOI: 10.1016/j.techfore.2017.12.019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.12.019>. Acesso em: 12 dez. 2020.

MURUGESAN, A.; SUBRAMANIAM, D.; AVINASH, A.; SASIKUMAR, P. Evaluation of bio-diesel properties: a statistical approach. **International Journal of Ambient Energy**, London, v. 38, n. 3, p. 273–279, 2017. DOI: 10.1080/01430750.2015.1086684. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01430750.2015.1086684>. Acesso em: 10 mar. 2021.

NAYAK, C.; PATTANAIK, B, P.; NAYAK, S. K. Effect of preheated jatropha oil and jatropha oil methyl ester with producer gas on diesel engine performance. **International Journal of Automotive and Mechanical Engineering**, Pahang, v. 9, n. June, p. 1709–1722, 2014. DOI: 10.15282/ijame.9.2013.20.0142. Disponível em: [doi: http://dx.doi.org/10.15282/ijame.9.2013.20.0142](http://dx.doi.org/10.15282/ijame.9.2013.20.0142). Acesso em: 15 dez. 2020.

NO, S. How vegetable oils and their derivatives affect spray characteristics in ci engines — a review. **Atomization and Sprays**, [S. l.], v. 21, n. 1, p. 87–105, 2011. a. DOI: 10.1615/AtomizSpr.v21.i1.60. Disponível em: <https://www.dl.begellhouse.com/journals/6a7c7e10642258cc,6fbc20a3389286f3,0ce46a2419bef806.html>. Acesso em: 24 jul. 2021.

NO, S. Inedible vegetable oils and their derivatives for alternative diesel fuels in CI engines: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 15, p. 131–149, 2011. b. DOI: 10.1016/j.rser.2010.08.012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032110002649?via%3Dihub>. Acesso em: 15 dez. 2020.

NO, S. Application of hydrotreated vegetable oil from triglyceride based biomass to CI engines – A review. **Fuel**, [S. l.], v. 115, p. 88–96, 2014. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.07.001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2013.07.001>. Acesso em: 25 jul. 2021.

NOOR, C. W. M.; MAMAT, R.; NAJAFI, G.; YASIN, M. H. M.; IHSAN, C. K.; NOOR, M. M. Prediction of marine diesel engine performance by using artificial neural network model. **Journal of Mechanical Engineering and Sciences**, Pahang, v. 10, n. 1, p. 1917–1930, 2016. DOI: 10.15282/jmes.10.1.2016.15.0183. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15282/jmes.10.1.2016.15.0183>. Acesso em: 20 set. 2021.

OGUNKUNLE, O.; AHMED, N. A. Exhaust emissions and engine performance analysis of a marine diesel engine fuelled with Parinari polyandra biodiesel – diesel

blends. **Energy Reports**, [S. l.], v. 6, p. 2999–3007, 2020. DOI: 10.1016/j.egy.2020.10.070. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.10.070>. Acesso em: 1 maio. 2021.

OLIVEIRA, S. V.; REYS, M. A. Estruturação e consolidação da produção do biodiesel - base de soja - no Rio Grande do Sul. **Revista Extensão Rural**, Santa Maria, v. 17, p. 93–116, 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/extensaorural/article/view/5557>. Acesso em: 5 jul. 2021.

OLIVEIRA, V. C. K. **Análise do cártamo como cultura energética**. Orientador: Reginaldo Ferreira Santos. 2016. 47f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2016. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/3491>. Acesso em: 7 set. 2021.

ONU. **ODS**. 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 7 set. 2021.

OPC. **OPC Foundation**. 2021. Disponível em: <https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/>. Acesso em: 20 jan. 2021.

ÖZENER, O.; YÜKSEK, L.; ERGENÇ, A. T.; ÖZKAN, M. Effects of soybean biodiesel on a DI diesel engine performance , emission and combustion characteristics. **Fuel**, [S. l.], v. 115, p. 875–883, 2014. DOI: 10.1016/j.fuel.2012.10.081. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236112009544?via%3Di%3Dhub>. Acesso em: 20 jun. 2021.

ÖZTÜRK, E. Performance , emissions , combustion and injection characteristics of a diesel engine fuelled with canola oil – hazelnut soapstock biodiesel mixture. **Fuel Processing Technology**, [S. l.], v. 129, p. 183–191, 2015. DOI: 10.1016/j.fuproc.2014.09.016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.09.016>. Acesso em: 28 jan. 2021.

PAUL, A.; PANUA, R.; DEBROY, D. An experimental study of combustion , performance , exergy and emission characteristics of a CI engine fueled by Diesel-ethanol- biodiesel blends. **Energy**, [S. l.], v. 141, p. 839–852, 2017. DOI: 10.1016/j.energy.2017.09.137. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.09.137>. Acesso em: 6 nov. 2020.

PETRUZELLA, F. D. **Controladores Lógicos Programáveis**. 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

POSSA, D. C. **Análise energética e exérgica de um motor de ignição por compressão operando com diesel e biodiesel**. Orientador: Samuel Nelson Melegari de Souza. 2021. 87f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2021. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/5356>. Acesso em: 7 set. 2021.

QI, D. H.; CHEN, H.; GENG, L. M.; BIAN, Y. Z. Experimental studies on the combustion characteristics and performance of a direct injection engine fueled with biodiesel/diesel blends. **Energy Conversion and Management**, [S. l.], v. 51, n. 12,

p. 2985–2992, 2010. DOI: 10.1016/j.enconman.2010.06.042. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890410002542?via%3Di> hub. Acesso em: 9 dez. 2020.

RADHA, K.; NAGA, S.; K, Rajagopal; NAGESH., E. L. Performance and emission characteristics of a ci engine operated on vegetable oils as alternative fuels. **International Journal of Automotive and Mechanical Engineering**, Pahang, v. 4, n. December, p. 414–427, 2011. DOI: 10.15282/ijame.4.2011.4.0034. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.15282/ijame.4.2011.4.0034>. Acesso em: 15 set. 2021.

RAHIMI, V.; KARIMI, K.; SHAFIEI, M.; NAGHAVI, R.; KHOSHNEVISAN, B.; GHANAVATI, H.; MOHTASEBI, S. S.; RAFIEE, S.; TABATABAEI, M. Well-to-wheel life cycle assessment of Eruca Sativa-based biorefinery. **Renewable Energy**, [S. l.], v. 117, p. 135–149, 2018. DOI: 10.1016/j.renene.2017.10.035. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148117309977?via%3Di> hub. Acesso em: 21 mar. 2021.

RAHMAN, M. M.; RASUL, M. G.; HASSAN, N. M. S.; AZAD, A. K.; UDDIN, M. N. Effect of small proportion of butanol additive on the performance, emission, and combustion of Australian native first- and second-generation biodiesel in a diesel engine. **Environmental Science and Pollution Research**, [S. l.], v. 24, n. 28, p. 22402–22413, 2017. DOI: 10.1007/s11356-017-9920-6. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-017-9920-6>. Acesso em: 20 ago. 2021.

RAJESH, S.; KULKARNI, B. M.; BANAPURMATH, N. R.; KUMARAPPA, S.; KULKARNI, B. M.; BANAPURMATH, N. R.; KUMARAPPA, S. Effect of injection parameters on performance and emission characteristics of a CRDi diesel engine fuelled with acid oil biodiesel – ethanol blended fuels. **Biofuels**, [S. l.], v. 9, p. 353–367, 2018. DOI: 10.1080/17597269.2016.1271628. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17597269.2016.1271628>. Acesso em: 13 abr. 2021.

RAMAN, L. A.; DEEPANRAJ, B.; RAJAKUMAR, S.; SIVASUBRAMANIAN, V. Experimental investigation on performance , combustion and emission analysis of a direct injection diesel engine fuelled with rapeseed oil biodiesel. **Fuel**, [S. l.], v. 246, n. February, p. 69–74, 2019. DOI: 10.1016/j.fuel.2019.02.106. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.02.106>. Acesso em: 25 fev. 2021.

REBOLLEDO-LEIVA, R.; ANGULO-MEZA, L.; IRIARTE, A.; GONZÁLEZ-ARAYA, M. C. Joint carbon footprint assessment and data envelopment analysis for the reduction of greenhouse gas emissions in agriculture production. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 593–594, p. 36–46, 2017. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.147. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.147>. Acesso em: 26 maio. 2021.

REIJNDERS, L. Conditions for the sustainability of biomass based fuel use. **Energy Policy**, Amsterdam, v. 34, p. 863–876, 2006. DOI: 10.1016/j.enpol.2004.09.001. Disponível em: <https://www.journals.elsevier.com/energy-policy>. Acesso em: 22 dez. 2020.

RIBEIRO, Camilo Bastos; SCHIRMER, Waldir Nagel. Panorama of fuels and biofuels

in Brazil and gas emissions due to the use of gasoline/ethanol. **Biofix Scientific Journal**, [S. l.], v. 2, p. 16–22, 2017. DOI: [dx.doi.org/10.5380/biofix.v2i2.53539](https://doi.org/10.5380/biofix.v2i2.53539). Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/biofix/article/download/53539/33120>. Acesso em: 25 jan. 2021.

RODRIGUES, H. V. **Análises físico-químicas e otimização da prensagem de canola em extrusora mecânica sob variações de temperatura e rotação**. Orientador: Reginaldo Ferreira Santos. 2021. 132f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2021. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/5476>. Acesso em: 7 set. 2021.

ROY, M. M.; WANG, W.; BUJOLD, J. Biodiesel production and comparison of emissions of a DI diesel engine fueled by biodiesel – diesel and canola oil – diesel blends at high idling operations. **Applied Energy**, [S. l.], v. 106, p. 198–208, 2013. DOI: [10.1016/j.apenergy.2013.01.057](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.01.057). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.01.057>. Acesso em: 28 jun. 2021.

RUHUL, A.; ABEDIN, J.; RAHMAN, S. M. A.; HAJI, B.; MASJUKI, H.; ALABDULKAREM, A.; KALAM, A.; SHANCITA, I. Impact of fatty acid composition and physicochemical properties of Jatropha and Alexandrian laurel biodiesel blends: An analysis of performance and emission characteristics. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 133, p. 1181–1189, 2016. DOI: [10.1016/j.jclepro.2016.06.017](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.017). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.017>. Acesso em: 22 dez. 2020.

SAIFUDDIN, N.; REFAL, H.; P, Kumaran. Performance and emission characteristics of micro gas turbine engine fuelled with bioethanol-diesel-biodiesel blends. **International Journal of Automotive and Mechanical Engineering**, Pahang, v. 14, n. 1, p. 4030–4049, 2017. DOI: [10.15282/ijame.14.1.2017.16.0326](https://doi.org/10.15282/ijame.14.1.2017.16.0326). Disponível em: <https://doi.org/10.15282/ijame.14.1.2017.16.0326>. Acesso em: 10 dez. 2020.

SAKTHIVEL, G.; NAGARAJAN, G.; ILANGKUMARAN, M.; BAJIRAO, A. Comparative analysis of performance, emission and combustion parameters of diesel engine fuelled with ethyl ester of fish oil and its diesel blends. **FUEL**, [S. l.], v. 132, p. 116–124, 2014. DOI: [10.1016/j.fuel.2014.04.059](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.04.059). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2014.04.059>. Acesso em: 10 ago. 2021.

SALAMA, C.; PINGUELLI, L.; FIDELIS, N. Generation of electric energy in isolated rural communities in the Amazon Region a proposal for the autonomy and sustainability of the local populations. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 15, p. 493–503, 2011. DOI: [10.1016/j.rser.2010.09.052](https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.052). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032110003394?via%3Di%3Dhub>. Acesso em: 20 abr. 2021.

SANJID, A.; KALAM, A.; MASJUKI, H. H.; VARMAN, M.; WAHIDAH, N.; MOHD, B.; ABEDIN, J. Performance and emission of multi-cylinder diesel engine using biodiesel blends obtained from mixed inedible feedstocks. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 112, p. 4114–4122, 2016. DOI: [10.1016/j.jclepro.2015.07.154](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.154). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615010859>. Acesso

em: 20 nov. 2020.

SANTOS, R. F. **Culturas Energéticas**. 1 ed. Cascavel: EDUNIOESTE, 2018. Disponível em: [www.edunioeste.br/editora](http://www.edunioeste.br/editora).

SCHUROFF, C. K. **Adubação da cultura da canola com torta de crambe**. Orientador: Luiz Antônio Zanão Júnior. 2018. 32f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2018. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/3781>. Acesso em: 7 set. 2021.

SEBAYANG, A. H.; MASJUKI, H. H.; CHYUAN, H.; DHARMA, S.; SILITONGA, A. S.; KUSUMO, F.; MILANO, J. Optimization of bioethanol production from sorghum grains using artificial neural networks integrated with ant colony. **Industrial Crops & Products**, [S. l.], v. 97, p. 146–155, 2017. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.11.064. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.11.064>. Acesso em: 14 set. 2021.

SERDAR, H.; CAN, O.; OZT, E. Combustion and exhaust emissions of canola biodiesel blends in a single cylinder DI diesel engine. **Renewable Energy**, [S. l.], v. 109, p. 73–82, 2017. DOI: 10.1016/j.renene.2017.03.017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148117301982>. Acesso em: 20 nov. 2020.

SILVA, L. N.; CARDOSO, C. C.; PASA, V. M. D. Production of Cold-Flow Quality Biodiesel from High-Acidity On-Edible Oils—Esterification and Transesterification of Macauba (*Acrocomia aculeata*) Oil Using Various Alcohols. **Bioenergy Research**, New York, v. 9, n. 3, p. 864–873, 2016. DOI: 10.1007/s12155-016-9740-4. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12155-016-9740-4>. Acesso em: 21 maio. 2020.

SIMSEK, S. Effects of biodiesel obtained from Canola, sefflower oils and waste oils on the engine performance and exhaust emissions. **Fuel**, [S. l.], v. 265, n. November 2019, p. 117026, 2020. DOI: 10.1016/j.fuel.2020.117026. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117026>. Acesso em: 24 fev. 2021.

SINGH, B.; KUMAR, N.; MUK, H. A study on the performance and emission of a diesel engine fueled with *Jatropha* biodiesel oil and its blends. **Energy**, [S. l.], v. 37, n. 1, p. 616–622, 2012. DOI: 10.1016/j.energy.2011.10.043. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2011.10.043>. Acesso em: 27 jun. 2021.

STOJKOSKA, B. L. R.; TRIVODALIEV, K. V. A review of Internet of Things for smart home: Challenges and solutions. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 140, p. 1454–1464, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.10.006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.006>. Acesso em: 24 jul. 2020.

SUBRAMANI, A.; BADRUZZAMAN, M.; OPPENHEIMER, J.; JACANGELO, J. G. Energy minimization strategies and renewable energy utilization for desalination: A review. **Water Research**, [S. l.], v. 45, n. 5, p. 1907–1920, 2011. DOI: 10.1016/j.watres.2010.12.032. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2010.12.032>. Acesso em: 24 jan. 2021.

SUNDARARAJAN, K.; SUBBIAH, G.; GOMATHINAYAKAM, S.; Emission estimation of neat paradise tree oil combustion assisted with superheated hydrogen in a 4-stroke natural aspirated diesel engine. **Thermal Science**, [S. l.], v. 20, p. 1137–1145, 2016. DOI: 10.2298/TSCI16S4137S. Disponível em:

<http://www.doiserbia.nb.rs/Article.aspx?id=0354-983616137S#.YOHUfOhKjcs>. Acesso em: 20 mar. 2021.

TEOH, Y. H.; MASJUKI, H. H.; KALAM, M. A.; HOW, H. G. Effect of injection timing and EGR on engine-out- responses of a common-rail diesel engine fueled with neat biodiesel. **Royal Society of Chemistry**, [S. l.], v. 5, p. 96080–96096, 2015. DOI: 10.1039/c5ra14831f. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C5RA14831F>. Acesso em: 23 fev. 2021.

THANGARAJ, B.; SOLOMON, P. R. Scope of biodiesel from oils of woody plants: a review. **Clean Energy**, [S. l.], v. 4, n. 2, p. 89–106, 2020. DOI: 10.1093/ce/zkaa006. Disponível em: <https://academic.oup.com/ce>. Acesso em: 17 jan. 2021.

TONDO, W. L. **Efeitos do pré-aquecimento de blendas de óleo de fritura e biodiesel com óleo diesel utilizadas como combustível em queimadores**. Orientador: Flávio Gurgacz. 2015. 81f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2015. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/759>. Acesso em: 7 set. 2021.

TRENTINI, C. P.; OLIVEIRA, D. M.; ZANETTE, C. M. Low-pressure solvent extraction of oil from macauba (*Acrocomia aculeata*) pulp: characterization of oil and defatted meal. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 4, p. 725–731, 2016. DOI: 10.1590/0103-8478cr20150740. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20150740>. Acesso em: 24 nov. 2020.

WAMANKAR, A. K.; SATAPATHY, A. K.; MURUGAN, S. Experimental investigation of the effect of compression ratio, injection timing & pressure in a DI (direct injection) diesel engine running on carbon black-water-diesel emulsion. **Energy**, [S. l.], v. 93, p. 511–520, 2015. DOI: 10.1016/j.energy.2015.09.068. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.09.068>. Acesso em: 25 jan. 2021.

WEG. **Micro Controlador Programável CLIC-02 - Manual do Usuário**. 2010. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h80/h42/WEG-rele-programavel-clic-02-3rd-manual-portugues-br.pdf>. Acesso em: 3 jan. 2021.

XUE, J.; GRIFT, T. E.; HANSEN, A. C. Effect of biodiesel on engine performances and emissions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 1098–1116, 2011. DOI: 10.1016/j.rser.2010.11.016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.016>. Acesso em: 15 jan. 2021.

YANG, J.; HE, Q. S.; CORSCADDEN, K.; CALDWELL, C. Improvement on oxidation and storage stability of biodiesel derived from an emerging feedstock camelina. **Fuel Processing Technology**, [S. l.], v. 157, p. 90–98, 2017. DOI: 10.1016/j.fuproc.2016.12.005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.12.005>. Acesso em: 14 fev. 2021.

YESILYURT, M. K.; CESUR, C. Biodiesel synthesis from *Styrax officinalis* L. seed oil as a novel and potential non-edible feedstock: A parametric optimization study through the Taguchi technique. **Fuel**, Yozgat, v. 265, n. January, p. 117025, 2020. DOI: 10.1016/j.fuel.2020.117025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117025>. Acesso em: 25 dez. 2020.

YILMAZ, N.; DAVIS, S. M. Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) formation in a diesel engine fueled with diesel , biodiesel and biodiesel/n-butanol blends. **Fuel**, [S. l.], v. 181, p. 729–740, 2016. DOI: 10.1016/j.fuel.2016.05.059. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2016.05.059>. Acesso em: 28 set. 2020.

YUSAF, T. F.; YOUSIF, B. F.; ELAWAD, M. M. Crude palm oil fuel for diesel-engines : Experimental and ANN simulation approaches. **Energy**, [S. l.], v. 36, n. 8, p. 4871–4878, 2011. DOI: 10.1016/j.energy.2011.05.032. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2011.05.032>. Acesso em: 12 dez. 2020.

ZHANG, L.; YUAN, Y.; LEI, Y. Data driven CAN node reliability assessment for manufacturing system. **Chinese Journal of Mechanical Engineering**, [S. l.], v. 30, n. 1, p. 190–199, 2017. DOI: 10.3901/CJME.2016.1021.124. Disponível em: [www.cjmenet.com](http://www.cjmenet.com). Acesso em: 10 dez. 2020.

ZHANG, W.; YUAN, W.; ZHANG, X.; CORONADO, M. Predicting the dynamic and kinematic viscosities of biodiesel – diesel blends using mid- and near-infrared spectroscopy. **Applied Energy**, [S. l.], v. 98, p. 122–127, 2012. DOI: 10.1016/j.apenergy.2012.03.013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.03.013>. Acesso em: 20 jul. 2021.

## 8 ANEXOS

## 8.1 Anexo A

Nota fiscal combustível doado pela empresa Estrada.

RECEBEREMOS DA ESTRADA DIST. DE DERIV. DO PETR. LTDA		OS PRODUTOS CONSTANTES NA NOTA FISCAL AO LADO		NF-e	
Atendendo à Resolução ANP nº 44 de 19/11/13, declaramos que:		<input type="checkbox"/> Recebemos os frascos de amostra testemunha e o envelope de segurança. <input checked="" type="checkbox"/> Optamos por dispensar o recebimento dos frascos de amostra testemunha e do envelope de segurança.		Nº 000.045.408	
Data: / /		Assinatura		Identidade	
				SÉRIE 4	

 ESTRADA DIST. ROD BR 277, KM 579 CASCAVEL VELHO CASCAVEL PR 85818-560 (45)3301-5000	<b>DANFE</b> DOCUMENTO AUXILIAR DA NOTA FISCAL ELETRÔNICA 0- ENTRADA 1- SAÍDA <input checked="" type="checkbox"/> 1 Nº 000.045.408 SÉRIE 4 FOLHA 1 de 1	CONTROLE DO FISCO 
		CHAVE DE ACESSO 4121 0101 8043 4500 0160 5500 4000 0454 0812 9736 1705 Consulta de autenticidade no portal nacional da NF-e <a href="http://www.nf.fazenda.gov.br/portal">www.nf.fazenda.gov.br/portal</a> ou no site da Setex Autorizadora

NATUREZA DA OPERAÇÃO	CFOP	PROTOCOLO DE AUTORIZAÇÃO DE USO
OUTRA SAÍDA DE MERCAD. NÃO ESPECIFICADA	5949	141210007863306 13/01/2021 14:16:28
INSCRIÇÃO ESTADUAL	INSCR. EST. SUBST. TRIBUT.	CNPJ
90128626-41	90173496-83	01.804.345/0001-60

DESTINATÁRIO/REMETENTE		CNPJ/CPF	DATA DA EMISSÃO
7411 UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ		78.680.337/0001-84	13/01/2021
ENDEREÇO	BARRIO/DISTRITO	CEP	DATA DA ENTRADA/SAÍDA
RUA UNIVERSITÁRIA	JARDIM UNIVERSITÁRIO	85819-110	13/01/2021
MUNICÍPIO	FONE/FAX	UF	INSCRIÇÃO ESTADUAL
CASCAVEL	(45) 3220-5708	PR	ISENTO
			HORA DE ENTRADA/SAÍDA
			14:13:02

FATURA						

CÁLCULO DO IMPOSTO						
BASE DE CÁLCULO DE ICMS	VALOR DO ICMS	BASE DE CÁLCULO DO ICMS SUBSTITUIÇÃO	VALOR DO ICMS SUBSTITUIÇÃO	VALOR TOTAL DOS PRODUTOS		
0,00	0,00	0,00	0,00	280,58		
VALOR DO FRETE	VALOR DO SEGURO	DESCONTO	OUTRAS DESPESAS ACESSÓRIAS	VALOR DO IPI	VALOR TOTAL DA NOTA	
,00	,00	0,00	,00	,00	280,58	

TRANSPORTADOR/VOLUMES TRANSPORTADOS						
RAZÃO SOCIAL	FRETE POR CONTA	CÓDIGO ANTT	CÁLCULO DO VEÍCULO	UF	CNPJ/CPF	
ESTRADA DIST DERIV DO PETROLEO	3		AAA-0000	PR	01804345000160	
ENDEREÇO	S/N	MUNICÍPIO	UF	INSCRIÇÃO ESTADUAL		
ROD BR 277		CASCAVEL	PR	90128626-41		
QUANTIDADE	ESPÉCIE	MARCA	NUMERAÇÃO	PESO BRUTO	PESO LÍQUIDO	
100	LT	Estrada		84,2	84,2	

DADOS DO PRODUTO/SERVIÇOS												
COD.PROD	DESCRIÇÃO DO PRODUTO/SERVIÇOS	NCM/SH	CST	CFOP	UNID	QUANTID.	PR. UNITÁRIO	PREÇO TOTAL	R.C. ICMS	VL ICMS	VL IPI	ICMS IPI
00084	OLEO DIESEL A S10	27101921	060	5949	L	100	2,805791	280,58	0,00	0,00	0,00	0,00
	ONU 1202											

CÁLCULO DO ISSQN			
INSCRIÇÃO MUNICIPAL	VALOR TOTAL DOS SERVIÇOS	BASE DE CÁLCULO DO ISSQN	VALOR DO ISSQN

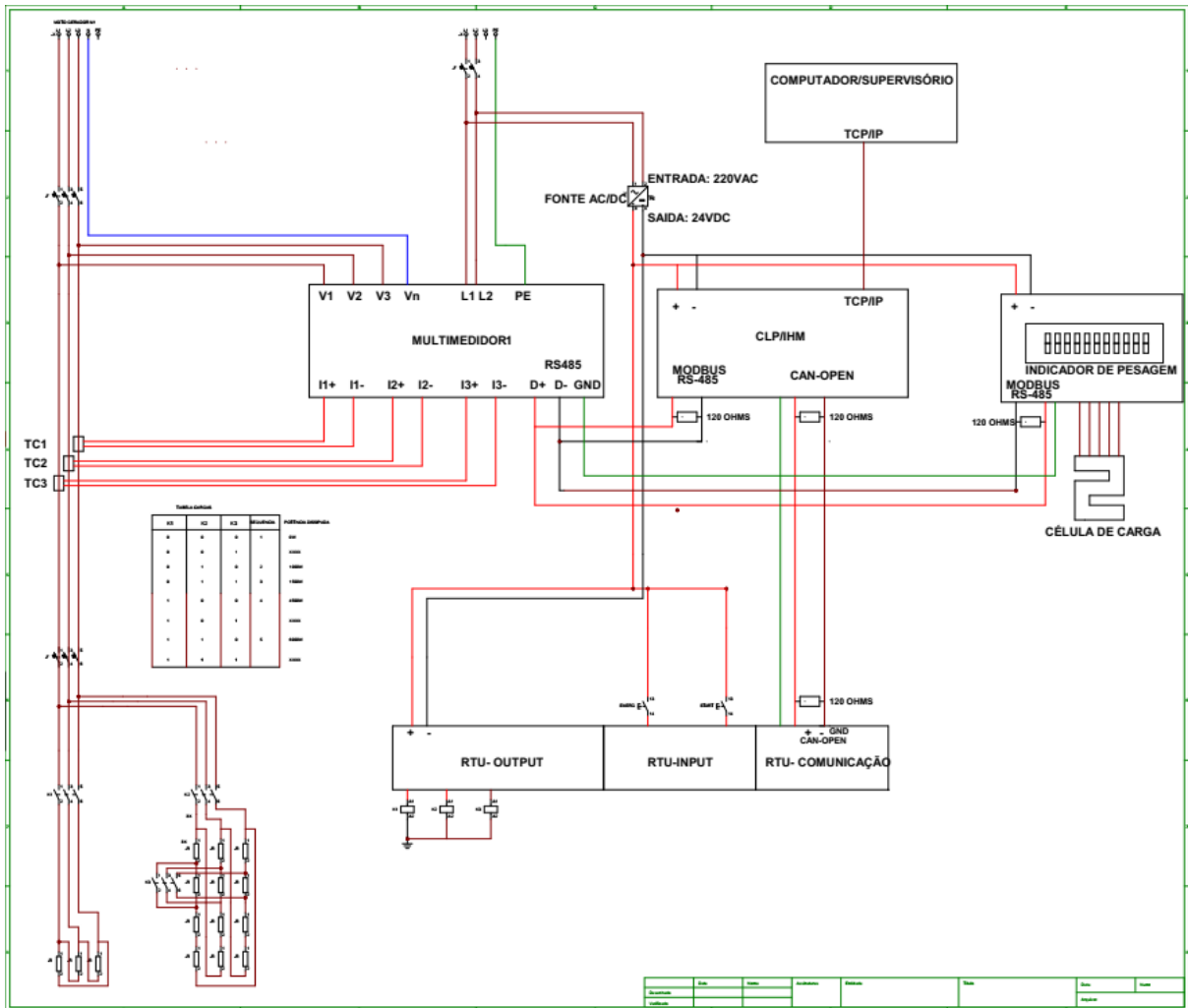
  

DADOS ADICIONAIS	
INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES ICMS ISENTO CFE ARTIGO 3 PARAGRAFO UNICO ANEXO V ITEM 6 (AMOSTRA) DO RICMS-PR/2017. PRODUTO QUE SEQUE PARA FINS DE PESQUISA NA ( NIT-UNIOESTE # UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ ) CFE OFICIO Nº 01/2021 - PPGEA. TRANSPORTE POR CONTA DO DESTINATARIO COM VEICULO PROPRIO. Produto de acordo com as especificações da ANP conforme Laudo: Código ANP do Produto 00084 : 420105001 BASE ICMS RETIDO ORIGEM RS R\$197,50	RESERVADO AO FISCO



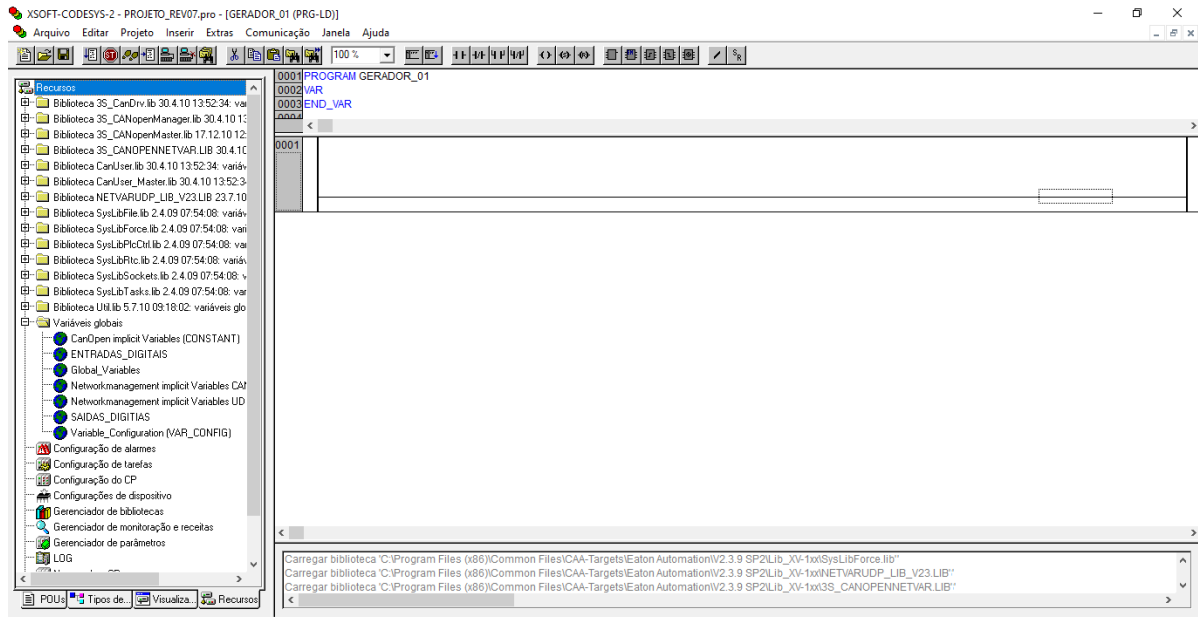
## 8.2 Anexo B

Esquema elétrico do projeto.



### 8.3 Anexo C

Software CODESYS V2.3.9.59 utilizado para desenvolver a lógica executado pelo controlador lógico programável.



Software Galileo V8.1.12 utilizado para o desenvolvimento do supervisório para a interface homem-máquina.

