

ADEMIRO ALVES DA ROCHA

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO PARA
ENSAIOS EM MOTORES COM BIOCOMBUSTÍVEL EM
DIFERENTES TEMPERATURAS

CASCADEL
PARANÁ - BRASIL
2020

ADEMIRO ALVES DA ROCHA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO PARA
ENSAIOS EM MOTORES COM BIOCOMBUSTÍVEIS EM
DIFERENTES TEMPERATURAS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências para o título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Gurgacz

CASCADEL
PARANÁ - BRASIL
2020

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

Rocha, Ademiro Alves da Rocha
DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO PARA
ENSAIOS EM MOTORES COM BIOCOMBUSTÍVEL EM DIFERENTES
TEMPERATURAS / Ademiro Alves da Rocha Rocha;
orientador(a), Flávio Gurgacz Gurgacz, 2020.
72 f.

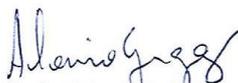
Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2020.

1. máquinas. 2. combustível. 3. biodiesel. I. Gurgacz, Flávio Gurgacz. II. Título.

ADEMIRO ALVES DA ROCHA

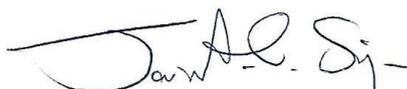
Desenvolvimento de um sistema de aquecimento para ensaios em motores com biocombustíveis em diferentes temperaturas

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



Orientador(a) - Flávio Gurgacz

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



Jair Antonio Cruz Siqueira

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



Douglas Guedes Batista Torres

Centro Universitário Univel

Cascavel, 6 de março de 2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus pelas bênçãos recebidas e por iluminar meu caminho nesta jornada.

A minha esposa que esteve presente em todos os momentos de dificuldade dando todo seu apoio me fortalecendo para enfrentar os desafios.

Aos meus familiares que colocaram suas orações para que pudesse finalizar mais esse projeto de vida, em especial meu pai que já não se encontra entre nós.

Ao meu professor orientador Flávio Gurgacz que já vem me acompanhando desde a graduação e mesmo com minhas limitações não deixou de acreditar em meu trabalho.

A todos os professores do programa Pós-Graduação *Strictu Sensu* em Energia na Agricultura pela dedicação e comprometimento comigo meus colegas discentes nos enriquecendo de conhecimento e valores profissionais.

Por fim a todos os amigos que estiveram presentes nessa jornada me trazendo força e confiança para alcançar meus objetivos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Motor diesel CUMMINS modelo 6CT8.3 visto em corte.....	5
Figura 2. Capacidade não utilizada, Produção efetiva e Capacidade instalada de biodiesel no Brasil.	10
Figura 3. Diagrama de funcionamento do sistema de aquecimento.	17
Figura 4. Vista frontal e superior e imagem dos reservatórios.	18
Figura 5. Vistas técnicas do suporte com reservatórios fixados.....	18
Figura 6. Fabricação da bancada com componentes de 1 a 4.....	19
Figura 7. Circuito de funcionamento do sistema do aquecedor.	20
Figura 8. Fonte de 12 volts tensão contínua.	20
Figura 9. Botoeira liga e desliga usada no projeto.	21
Figura 10. Arduino Nano (versão 3.0).	22
Figura 11. Display LCD 16K2.....	22
Figura 12. Sensor de temperatura pt100.....	23
Figura 13. Sensor de medida da temperatura de saída.	23
Figura 14. Rele de Resistência (5V ~250V 25A).....	24
Figura 15. Painel de acrílico.....	24
Figura 16. Furação de painel e componentes pré-fixados.	25
Figura 17. Ferro de solda e material de estanho usado na soldagem dos componentes eletrônicos.	25
Figura 18. Local para fixação do painel elétrico na bancada.	26
Figura 19. Vista em perspectiva isométrica do tanque de água.....	26
Figura 20. Processo de traçagem corte e dobra do reservatório de água.....	27
Figura 21. Processo de soldagem TIG no reservatório.....	28
Figura 22. Radiador e resistências inseridos no reservatório.....	28
Figura 23. Escopo da realização do projeto.....	32
Figura 24. Ligação para deslocamento do combustível conforme circuito.....	32
Figura 25. Temperatura do painel no modo manual.	33

Figura 26. Configuração da temperatura da água e temperatura máxima.	34
Figura 27. Sensor PT 100 instalado na tampa do reservatório.	34
Figura 28. Configuração da temperatura para ensaios.	35
Figura 29. Fluxograma de funcionamento do sistema de linguagem.	36
Figura 30. Termômetro usado na calibração dos sensores.	36
Figura 31. Fluxômetro EGGERS modelo FM3-100.	37
Figura 32. Cronômetro digital.	37
Figura 33. Termômetro e sensor de temperatura no reservatório de água.	38
Figura 34. Valor de dado atualizado no display durante a calibração.	39
Figura 35. Termômetro inserido junto ao sensor de saída.	39
Figura 36. Termômetro inserido ao galão de óleo de retorno.	40
Figura 37. Termômetro inserido no final do circuito de biodiesel.	40
Figura 38. Reservatório de água com gelo.	41
Figura 39. Sistema montado para realização do ensaio com diesel.	42
Figura 40. Temperatura do diesel no início do ensaio.	42
Figura 41. Temperatura do biodiesel antes e após a calibração.	45
Figura 42. Temperatura do termômetro e sensor de saída calibrado para o biodiesel.	47
Figura 43. Temperatura final de ensaio com diesel.	48
Figura 44. Tempo de aquecimento com a resistência de 1000 Watts no combustível diesel.	49
Figura 45. Tempo de aquecimento do biodiesel e diesel.	50
Figura 46. Diferença do tempo de aquecimento entre as resistências de 1700 Watts e 1000 Watts.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores de temperaturas do sensor de saída antes e após calibração	44
Tabela 2. Temperaturas registradas pelo sensor antes e após a calibração.	45
Tabela 3. Valores registrados de temperatura e tempo entre os intervalos.	46
Tabela 4. Dados de tempo e temperatura do ensaio com diesel.	48
Tabela 5. Tempo de aquecimento com resistências de 1700 Watts e 1000 Watts. ...	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Ranking da distribuição de frotas de tratores de rodas no mundo.	6
Quadro 2. Pontos de nevoa e de fluidez para Biodiesel de origens diversas.....	12
Quadro 3. Comparação de valores de temperatura do combustível para diferentes normas.	15
Quadro 4. Descrição do sistema de funcionamento.....	17
Quadro 5. Custos unitário e total dos componentes utilizados no projeto.....	31

ROCHA, Ademiro Alves da. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, março de 2020. Desenvolvimento de um sistema de aquecimento para ensaios em motores com biocombustíveis em diferentes temperaturas. Flávio Gurgacz.

RESUMO

O alto crescimento populacional do planeta acarretou em uma necessidade de desenvolvimento tecnológico para a produção de alimentos. O aumento no uso de máquinas agrícolas com motores ciclo diesel se tornou indispensável nesse processo, o que contribui para emissão de gases que poluem nosso planeta. Portanto, realizar ensaios com combustíveis provenientes de energias renováveis não fosseis é de suma importância para análise do desempenho de motores ciclo diesel. Desta forma, este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema para realizar ensaios com a utilização de diesel e biodiesel com temperaturas controladas em motores de ciclo diesel. Ressaltando-se assuntos pertinentes ao uso de combustíveis alternativos nos motores, com suas principais características de projeto, que influenciam no desempenho, eficiência e danos gerados aos motores de ciclo diesel. O trabalho consiste no dimensionamento do sistema de aquecimento e de materiais utilizados na construção da bancada de ensaios, conforme o desenho esquemático de funcionamento do sistema e execução prática do projeto. Foram realizados os testes de funcionamento para a calibração da temperatura registrada pelos sensores utilizados no reservatório de água e na saída do combustível, também se realizou ensaios com diesel e biodiesel para verificar o tempo de aquecimento e controle da temperatura. De maneira geral, o sistema se mostrou eficaz para realização de ensaios em motores de ciclo diesel, que depois de calibrado não apresentou variações da temperatura registrada pelo display como amostrada pelo termômetro. As resistências de 1700 Watts obtiveram tempos de aquecimento menores que as resistências de 1000 Watts, o que resultou em maior praticidade dos ensaios.

PALAVRAS-CHAVE: máquinas; combustível; biodiesel.

ROCHA, Ademiro Alves da. State University of Western Paraná, March 2020. Development of a heating system for tests on engines with biofuels at different temperatures. Flávio Gurgacz.

ABSTRACT

The high population growth of the planet led to a need for technological development for food production. The increase in the use of agricultural machines with diesel cycle engines has become indispensable in this process, which contributes to the emission of gases that pollute our planet. Therefore, conducting tests fuels from non-fossil renewable energies is of paramount importance for analyzing the performance of diesel cycle engines. Thus, this work aimed to develop a system to perform tests with the use of diesel and biodiesel with controlled temperatures in diesel cycle engines. Highlighting issues related to the use of alternative fuels in engines, with their main design characteristics, which influence the performance, efficiency and damage generated to diesel cycle engines. The work consists of the dimensioning of the heating system and materials used in the construction of the workbench, according to the schematic drawing of the system's operation and practical project execution. Functional tests were performed to calibrate the temperatures recorded by the sensors used in the water reservoir and at the fuel outlet. Tests were also performed with diesel and biodiesel to verify the heating time and temperature control. In general, the system proved to be effective to perform tests on diesel cycle engines, which after calibrated showed no variations in the temperature recorded by the display with that shown by the thermometer. The 1700 Watt resistances achieved shorter heating times than the 1000 Watt resistances which resulted in greater practicality of the tests.

KEYWORDS: machinery; fuel; biodiesel.

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos	3
1.1.1	Objetivo geral	3
1.1.2	Objetivos específicos	3
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	Usos de motores agrícolas para a produção de alimentos	4
2.2	Tratores	5
2.3	Usos do diesel para trabalho com máquinas agrícolas	7
2.4	Combustíveis alternativos	8
2.5	Biodiesel.....	8
2.6	Usos de Biodiesel e misturas no Brasil e no Mundo	9
2.7	Propriedades do biodiesel	11
2.8	Ensaio Dinamométrico de Motores Diesel	13
3.	MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1	Diagramas de funcionamento do sistema de aquecimento do experimento	16
3.2	Sistema de aquecimento	19
3.3	Dimensionamento e escopo do projeto	29
3.3.1.	Seleção de materiais e custos para elaboração do projeto	30
3.4	Execução técnica do circuito de funcionamento.	31
3.4.1	Etapa de programação para o sistema de aquecimento	33
3.5	Calibração do sensor de temperatura da água (T° Água)	37
3.6	Calibração do sensor de temperatura do óleo (T° saída)	39
3.7	Ensaio com a utilização da bomba EGGERS modelo FM3-100.....	41
3.8	Ensaio com resistências de 1700W	42
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44

4.1 Ensaio de funcionamento e calibração com Biodiesel B100	44
4.3 Ensaio de funcionamento do sistema com diesel	47
4.4 Comparação do tempo de aquecimento entre os ensaios com biodiesel e diesel	49
4.4 Ensaio com diesel usando resistências de 1700W	50
5. CONCLUSÃO.....	52
ANEXO 1 – PROGRAMAÇÃO C++	56

1. INTRODUÇÃO

O uso de máquinas agrícolas vem se tornando indispensável para a produção de alimentos no mundo. Hodgson (2008) relata o crescimento da população mundial, que já ultrapassa 7,4 bilhões de pessoas, sendo, assim, importante o uso de máquinas com maior capacidade de produção para garantir o alto consumo de alimentos no planeta.

Para que as máquinas agrícolas possam realizar o trabalho com a máxima eficiência, é importante ressaltar os tipos de combustíveis usados para geração de energia de seus motores. Dionysio e Meirelles (2011) consideram como combustível qualquer substância queimada na qual o oxigênio se encontra no ar com proporção de 21%, sendo denominado como comburente. Os Autores também afirmam que é necessária uma série de condições para a combustão acontecer, e uma delas é que os reagentes precisam atingir a energia de ativação necessária para a produção dos produtos de reação.

Segundo Carvalho (2008), o emprego de fontes de energia eficientes foi predominante para a evolução da humanidade em que enfatizamos os processos produtivos e seu desenvolvimento tecnológico, e uma das formas mais eficientes para a geração de energia em motores é com o uso de combustíveis de origem fóssil, como a gasolina e o diesel.

Uma das preocupações em usar os combustíveis de origem fóssil é que eles contribuem diretamente para o aumento da temperatura do planeta. A emissão de gases estufa por queima de combustíveis fósseis, principalmente carvão e derivados de petróleo, indústrias, refinarias, motores, queimadas entre outros, dão origem a um fenômeno climático de larga extensão denominado como aquecimento global (SILVA; PAULA, 2009).

Tendo em vista o prejuízo ambiental causado pelo uso dos combustíveis de origem fóssil, torna-se de suma importância a busca por alternativas sustentáveis para suprir a demanda energética do planeta e reduzir a emissão de poluentes (HODSON, 2008).

Com o grande esforço da sociedade em busca de alternativas energéticas, levou-se ao desenvolvimento dos biocombustíveis, que são produzidos a partir de produtos agrícolas e gorduras residuais e podem minimizar os problemas de consumo de energia no futuro (TILLMANN, 2013).

Segundo Dionysio e Meirelles (2011), os biocombustíveis trazem grandes benefícios à sociedade e ao meio ambiente, mas o uso dos mesmos ainda se torna muito limitado pelo princípio construtivo dos motores. No entanto, parte dos problemas no uso do biodiesel está diretamente ligado ao seu alto índice de oxidação, diferentes taxas de poder calorífico, alta viscosidade em baixas temperaturas,

O biodiesel é considerado um biocombustível de origem renovável. Segundo Neto (2007), uma desvantagem de se usar o biodiesel são as alterações de suas características devido à variação de temperatura. Outra desvantagem é o aumento de custo se comparado ao diesel, e o motivo desse aumento é devido à escassez da matéria-prima para obtenção do biodiesel. Outra característica muito importante quando se trata de suas propriedades que são muito semelhantes ao diesel de origem mineral (SANTOS; AZEVEDO, 2008).

Segundo Santos (2009), desde a criação do motor diesel, um dos principais desafios de melhorar os motores de ignição por compressão está no sistema de injeção, já que o mesmo é responsável pelo desempenho do motor, buscando uma combustão ideal, no qual algumas tecnologias foram desenvolvidas. O biodiesel possui propriedades de fluxo a frio menores que o diesel, no entanto, essas características agravam consideravelmente o aspecto de entupimento dos bicos (KNOTHE, 2006).

De acordo com Machado (2008), em estudos realizados com motor ciclo diesel, o aquecimento do biodiesel a temperaturas entre 50 a 60°C podem melhorar a formação da mistura e promover uma melhor pulverização do combustível, melhorando no desempenho dos motores.

O desenvolvimento de um sistema de aquecimento de combustíveis para a realização de ensaios em motores diesel se justifica pelo fato que o uso de biodiesel em baixas temperaturas pode acarretar diversos problemas no motor, como desgastes de peças e entupimento de bicos, prejudicando seu desempenho. Justifica-se, também, por apresentar respostas de desempenho do motor utilizando

diferentes blendas do biodiesel em diferentes temperaturas, assim contribuindo para os avanços tecnológicos, relacionados à pesquisa do uso de biocombustíveis em motores.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Projetar e construir uma bancada de testes que permita realizar ensaio em motores ciclos diesel com a utilização do dinamômetro, fazendo uso de diferentes misturas de diesel e biodiesel com temperaturas controladas.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Construir um sistema de aquecimento para realizar ensaios com motores de combustão alimentados com biodiesel ou misturas de diesel e biodiesel em diferentes temperaturas;
- b) Desenvolver um sistema para o controle automático de temperatura do combustível, para diferentes vazões de alimentação de motores agrícolas ciclo diesel.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta pesquisa, foi realizada uma abordagem sobre o uso de motores agrícolas na produção de alimentos, um panorama sobre o uso de tratores e colhedoras agrícolas e sua distribuição de frotas. Também foi apresentado um breve relato sobre o consumo de diesel e biodiesel no Brasil e suas projeções, tendo como ênfase algumas propriedades de fluxo a frio, como ponto de cristalização, névoa e mínima fluidez do biodiesel as quais influenciam diretamente no uso em motores de ciclo diesel. Por último, uma breve definição sobre os tipos de ensaios realizados em máquinas agrícolas.

2.1 Usos de motores agrícolas para a produção de alimentos

Até o século XVIII, os processos agrícolas aconteciam com instrumentos rudimentares. Com o crescimento populacional e a revolução industrial, houve um aumento na demanda de alimentos, o que fez com que a Europa, principalmente a Inglaterra, tivesse uma maior preocupação de manter sua subsistência. O desenvolvimento tecnológico tornou-se necessário no campo, que progrediu junto às demais áreas, assim os diversos meios de transporte como ferrovias, navegação e outros que possibilitaram o transbordo de alimentos para outros países com menor custo (VIAN; JUNIOR, 2010).

O elemento responsável para possibilitar o trabalho com as máquinas agrícolas são os motores. As máquinas agrícolas como trator, colhedoras e outros que exigem grande fator de carga, o que se torna especial o uso dos motores para essas aplicações (IACONO; 2017).

De acordo com Farias (2014), a parte mais complexa de uma máquina agrícola é o motor, o que o torna especial e se faz necessário um estudo detalhado sobre seu funcionamento. O autor define o motor a combustão interna como uma máquina que transforma a energia química do combustível em energia mecânica, ou seja, em trabalho útil. Ainda, refere-se a estes motores dividindo-os em dois tipos: motores de ciclo Otto e ciclo Diesel.

Cavalcanti (2013) considera o motor diesel uma máquina a combustão interna que, segundo ele, é denominado ciclo diesel e seu funcionamento acontece em quatro tempos. Conforme relatos do autor, a ignição do combustível é formada pelo o aumento da pressão e temperatura na câmara de combustão em conjunto com a injeção do diesel.

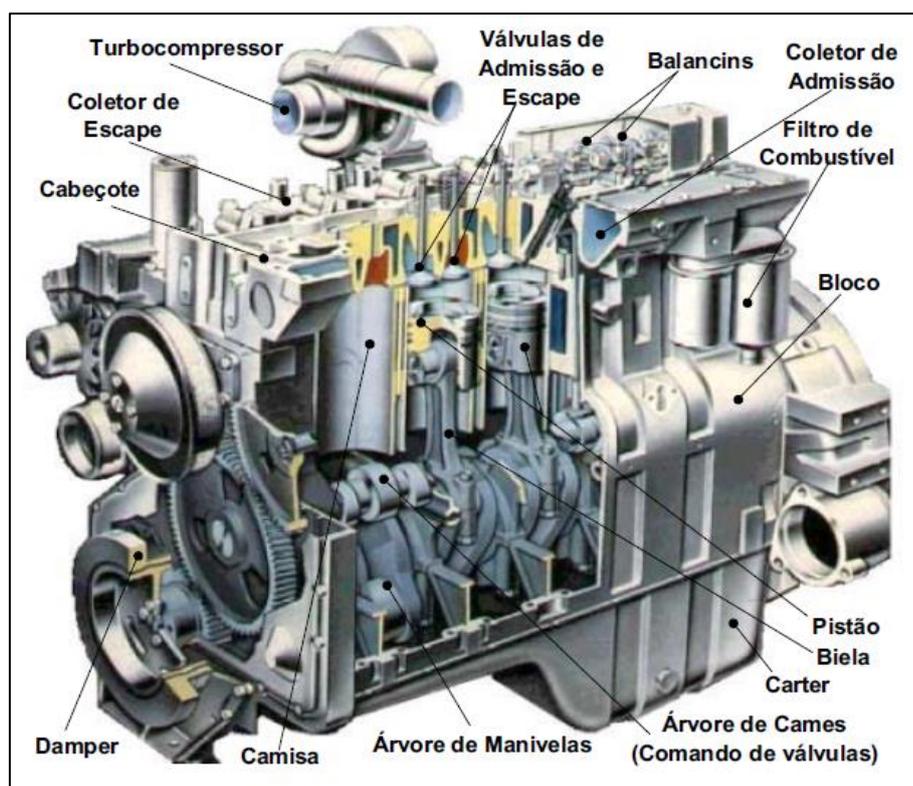


Figura 1. Motor diesel CUMMINS modelo 6CT8.3 visto em corte.
Fonte: Pereira, s/a.

O alemão Rudolphe Diesel construiu seus primeiros motores em 1892. Em seus trabalhos, fundamentou o motor de ignição por compressão que se caracteriza pela a pressão constante. Para Giacosa (1980 *Apud* Cavalcanti, 2013), torna-se um diferencial, com relação ao motor de ciclo Otto, o motor diesel operar com maiores taxas de compressão.

2.2 Tratores

Uma das principais máquinas utilizadas na agricultura é o trator, e seus motores são denominados motores de ciclo diesel que necessita da energia do combustível para gerar potência. Segundo Silva e Vian (2016), os tratores representam o principal produto no mercado de máquinas agrícolas, por serem

capazes de realizar atividades que vão desde o manejo e preparo do solo, pulverização até o processamento final e transporte de produtos.

O trator é considerado uma máquina móvel de arrastar ou automotriz, que disponibiliza força de tração, e um veículo que produz potência para ser usada como, quando e onde se julgar oportuno. Em outras palavras, é uma fonte econômica de potência a serviço dos implementos agrícolas. Pela sua importância, pode-se dizer ainda que o trator é uma central móvel de potência, da qual se devem conhecer os princípios de funcionamento e utilização para aperfeiçoar o seu uso (FOLLE; FRANZ, 1990).

Existe uma grande variedade de modelos de tratores com diferentes tipos de rodados, diversos componentes com funções muito específicas, além de acessórios para fornecer maior conforto para o operador. Os tratores podem ser classificados quanto sua potência, tração por rodas ou por esteira, tração nas duas ou quatro rodas, rodado simples ou duplo. No entanto, uma de suas principais características é a potência que influencia diretamente no trabalho agrícola (MONTEIRO; SILVA 2009).

Segundo Borges (2016), o Brasil ainda possui poucos tratores agrícolas se comparado com outros países, o que aumenta consideravelmente a possibilidade de crescimento industrial criada pela necessidade dos processos de mecanização no campo.

Conforme o Quadro 1, pode-se observar os dados que retratam a posição do Brasil no ranking dos países que mais possuem tratores de rodas no mundo, sendo que o Brasil ocupa a 11ª posição.

Ranking	País	Frota de Tratores
1º	Estados Unidos da América	4.389.812
2º	Índia	2.091.000
3º	Japão	2.027.674
4º	Itália	1.754.401
5º	Polônia	1.577.290
6º	França	1.176.245
7º	Espanha	1.038.726
8º	Alemanha	989.488
9º	China	989.139
10º	Turquia	941.835
11º	Brasil	788.053

Quadro 1. Ranking da distribuição de frotas de tratores de rodas no mundo.
Fonte: Borges (2016).

2.3 Usos do diesel para trabalho com máquinas agrícolas

O combustível utilizado em larga escala para abastecer máquinas agrícolas é o óleo diesel. De acordo com Farias e Silva (2014), o óleo diesel é extraído diretamente do petróleo, formado por um composto orgânico de átomos de carbono e hidrogênio, também conhecido por hidrocarbonetos, e contém cadeias de doze a vinte átomos de carbono, a qual determina suas propriedades como teor de enxofre, nitrogênio, oxigênio e alguns íons metálicos.

Para Santos (2014), um dos principais problemas no uso do diesel é referente ao teor de enxofre, que, ao reagir com o oxigênio durante o processo de combustão, transforma-se em dióxido de enxofre, sendo considerado um dos maiores poluentes encontrados no ar.

Os combustíveis mais utilizados no mundo são de origem fóssil, não renovável. No Brasil, o diesel vem sendo o combustível mais consumido, o que contribui significativamente para o aumento da poluição do ar e o efeito estufa (CAMILO, 2013). Para Rosa e Turns (2013), deve-se considerar o aumento de emissão de enxofre que é de 0,1% a 0,5%, gerado pelos carros de baixa potência fabricados com motores a diesel é relativamente maior que a poluição gerada pela gasolina.

No Brasil, o uso do diesel é determinado pelos órgãos de regulamentações responsáveis.

A Resolução da ANP nº 50 de 23 de dezembro de 2013 estabelece os dois tipos de óleo diesel:

- a) Óleo diesel A: combustível produzido nas refinarias, nas centrais de matérias-primas petroquímicas e nos formuladores. Sem adição de biodiesel;
- b) Óleo diesel B: óleo diesel A, adicionado de biodiesel no teor estabelecido pela legislação vigente.

Ainda de acordo com Iacono (2017) a ANP estabelece também para esses dois tipos de diesel a comercialização conforme seu teor de enxofre, assim sendo:

- a) Óleo diesel A S-10 e Óleo diesel B S-10: combustíveis com teor de enxofre máximo de 10 mg kg⁻¹;
- b) Óleo diesel A S-500 e Óleo diesel B S-500: combustíveis com teor de enxofre máximo de 500 mg kg⁻¹ (IACONO, 2017, p. 13).

O artigo 1-C da Lei nº 13.263/2016 faculta a adição voluntária de biodiesel ao diesel em quantidade superior ao percentual obrigatório. Também especifica o uso voluntário da mistura no transporte público, no transporte ferroviário, na navegação

interior, em equipamentos e veículos destinados à extração mineral e à geração de energia elétrica em tratores e nos demais aparelhos automotores que executam trabalhos agrícolas.

2.4 Combustíveis alternativos

De acordo com Mattos (2012) o uso de combustíveis fósseis em grande escala incentivou o desenvolvimento de outra classe de combustível. O aumento da poluição atmosférica gerada pelos combustíveis fósseis contribuiu para uma pressão a nível mundial para que os países trabalhassem na descoberta de um combustível não poluente, o biocombustível.

Define-se o biocombustível como todo material proveniente da matéria viva, que pode ser diretamente aproveitada para obtenção de energia. Tem como característica predominante ser renovável. Tem como principal característica reduzir o dióxido de carbono (CO_2) e óxidos de enxofre (SO_2) sobre o meio ambiente e estão sendo utilizados para substituir alguns combustíveis fósseis de veículos (LEITE, 2007).

Entre as mais diversas alternativas estudadas para substituir os combustíveis derivados do petróleo, estão o gás natural, etanol e biodiesel. Segundo Goldenstein e Azevedo (2006), os combustíveis alternativos serão uma realidade cada vez maior em nossa sociedade, como o gás natural que é utilizado em táxis e carros de passeio, e o biodiesel sendo misturado de forma crescente ao diesel, reduzindo a necessidade de importação e gerando novos empregos no Brasil. Outra realidade são os carros híbridos elétricos que acarretam em uma grande redução do combustível e seu uso está crescendo em países como o Japão e EUA.

2.5 Biodiesel

O biodiesel pode ser utilizado nos motores de ciclo diesel, conforme especificações da Agência Nacional do Petróleo (ANP). O programa Brasileiro de Biocombustíveis conceitua o biodiesel como combustível obtido a partir de misturas em diferentes proporções de diesel e éster de óleos vegetais (CRUZ; ARNS, 2006). Já a Medida Provisória 214/04 descreve o biodiesel como um combustível para motores a combustão interna com ignição por compressão, renovável e biodegradável.

Ainda de acordo com Cruz e Arns (2006), o biodiesel pode ser obtido a partir de óleos de girassol, nabo forrageiro, algodão, mamona, soja e canola, e é considerada uma energia renovável e uma das alternativas aos combustíveis tradicionais. Além disso, o biodiesel reduz determinadas emissões poluentes e emissões de dióxido de carbono (que é o gás responsável pelo efeito estufa que está alterando o clima em escala mundial), promove o desenvolvimento da agricultura nas zonas rurais mais desfavorecidas, e também atua na geração de empregos e evita a desertificação.

Segundo Udaeta (2004), o biodiesel pode ser usado como substituto, mistura ou aditivo ao óleo diesel em motores de combustão-ignição. De acordo com o autor, podem ser usadas misturas de até 20% de biodiesel em qualquer equipamento diesel, não sendo necessário fazer alterações nos componentes do motor, mantendo um desempenho muito próximo ao diesel. Ainda de acordo com Udaeta (2004), em alguns motores podem ser usadas misturas maiores ou até mesmo o biodiesel puro, também conhecido como B100, e que se torna possível com pequenas alterações ou ajustes dos motores, por suas propriedades físicas serem muito semelhantes ao diesel.

2.6 Usos de Biodiesel e misturas no Brasil e no Mundo

O biodiesel tem suas características químicas semelhantes ao diesel e não requer alterações nos motores de ciclo diesel para seu uso. Assim, é notório o aumento do consumo de biodiesel e seus avanços nos últimos anos (FERNANDES *et al*, 2015).

A lei N° 11097/05 de 13 de janeiro de 2005 trata da introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, percentual mínimo de mistura de biodiesel no diesel e a obrigatoriedade de monitoramento do combustível no mercado. Determinou-se, inicialmente, a adição de 2% de biodiesel ao diesel e, oito anos depois, o percentual subiria para 5%. A obrigatoriedade do uso do biodiesel ao diesel começou em 2008, três anos após a lei ser sancionada, aumentando gradativamente (Mattos, 2012).

Segundo Abiove (2016), em 2015 houve a consolidação do B7 (7% na mistura do biodiesel ao diesel mineral). De acordo com Brasil (2016 *apud* Iacono, 2017), em março de 2016 foi sancionada a Lei nº 13.263/2016, aprovando o Projeto de Lei do Senado 613/2015, que estabelece novos percentuais de adição obrigatória, em

volume, de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final em qualquer parte do território nacional.

A lei determina que, no período de até 12 meses após a data de promulgação da Lei, deve-se adicionar 8% (oito por cento) de biodiesel ao óleo diesel. Depois, de vinte e quatro meses, a adição passa a ser de 9% (nove por cento), e em até trinta e seis meses, a adição passa a ser de 10% (dez por cento).

Para Reis *et al*, (2015) o aumento no percentual de biodiesel ao diesel aumentará a demanda de produção e consumo no Brasil, que, segundo dados da ANP entre 2012 e 2013 foram produzidos 2,42 bilhões de litros de biodiesel.

Segundo Fernandes *et al* (2015), o Brasil produziu em 2014 um total de 3.420 mil m³/ano, porém, verificou-se a existência de uma capacidade ociosa muito grande pois o parque industrial instalado na ordem de 59 usinas registrou 7.502m³/ano no mesmo período (MME, 2015).

Abiove (2016) apresenta um gráfico que mostra como o Brasil se preparou para este cenário de crescimento no percentual do biodiesel. Os dados apresentados na Figura 2 foram extraídos da ANP.

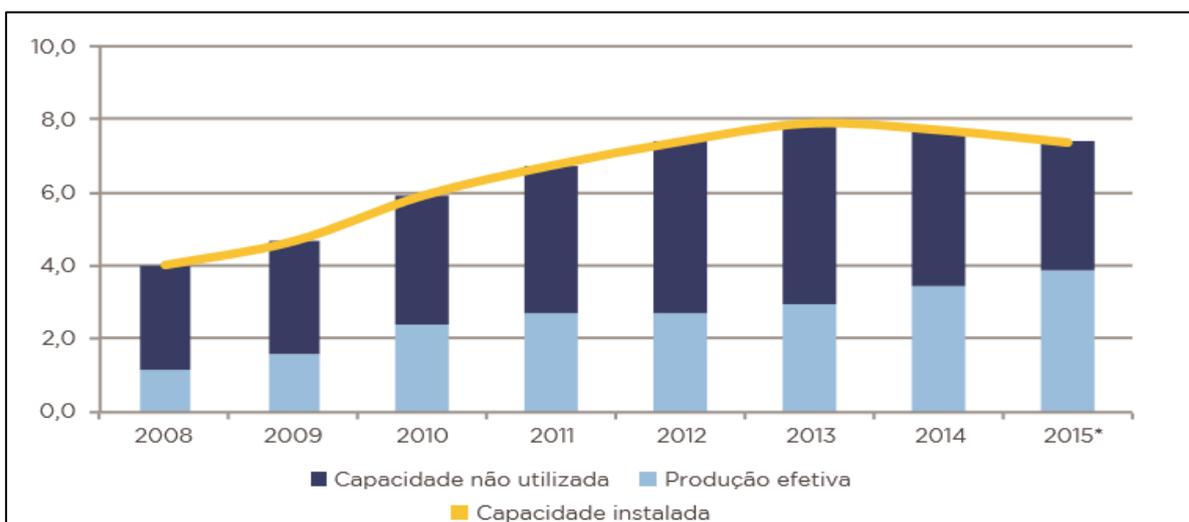


Figura 2. Capacidade não utilizada, Produção efetiva e Capacidade instalada de biodiesel no Brasil. Fonte: Agência Nacional do Petróleo (2016).

Outro ponto interessante e que favorece o Brasil na produção de biodiesel, é a diversidade climática e de ecossistemas, que permite uma gama de possibilidade de cultivos de oleaginosas para produzir biodiesel (JULIATO, 2006).

Segundo Lima *et al* (2008), o maior produtor de biodiesel do mundo é a Alemanha, que possui em todo o país um parque com plantas que contribuem para o

processo. A Alemanha dispõe de incentivos fiscais e uma excelente política que torna a produção do biodiesel mais barato que o diesel convencional, que é importado do Oriente Médio.

Ainda de acordo com Lima *et al* (2008), muitos países estão trabalhando intensamente para substituir o diesel que é utilizado no setor industrial, setor de transportes e na geração de energia devido ao combustível fóssil mostrar sinais de escassez, ter seu custo elevado e contribuir com o aumento de índices de poluição, temperatura e mudanças climáticas no planeta.

2.7 Propriedades do biodiesel

Para ser comercializado, o biodiesel precisa atender algumas especificações referentes às suas características físico-químicas. Este conjunto de propriedades está diretamente relacionado aos fatores que interferem no desempenho dos motores a combustão interna; sendo assim, torna-se necessário estabelecer padrões e fixar teores limites dos contaminantes segundo regulamentações para que estes não venham prejudicar a qualidade das emissões de gases na queima, bem como o desempenho, a integridade do motor e a segurança no transporte e manuseio. (DAPIEVE, 2015).

De acordo com Cavalcanti (2013), há semelhanças entre os óleos e biodiesel, porém os parâmetros de qualidade que relacionam os dois combustíveis estão diretamente ligados pelas suas características físico-químicas, denominadas como densidade, viscosidade, índice de cetano, ponto de fulgor, ponto de entupimento de filtro a frio.

Segundo Junior (2013), há uma grande semelhança entre a especificação ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), na resolução n°. 14 de 11 de maio de 2012 com a norma europeia EN 14214 e a Americana ASTM D6751. Para Junior (2013), vale destacar algumas propriedades dos combustíveis que podem ser prejudiciais quando avaliadas em uso nos motores. Para avaliar a qualidade de trabalho do biodiesel B100 a frio, levam-se em consideração três pontos fundamentais:

- Ponto de Névoa;
- Ponto de mínima fluidez;
- Ponto de entupimento de filtro a frio;

Ponto de Névoa.

Quando o biodiesel é resfriado abaixo das condições de operação e começam a se formar os primeiros cristais de ésteres de ácidos graxos, este ponto da temperatura é denominado o ponto de Névoa.

Ponto de mínima fluidez.

À medida que os sólidos e cristais de ésteres de ácidos graxos vão crescendo, inicia-se um processo de aglomeração, o qual dificulta a passagem do fluido pelos filtros podendo causar o entupimento dos mesmos. Este ponto é denominado como a maior temperatura em que o fluido possa escoar por um ponto em um determinado tempo, também conhecido como ponto de mínima fluidez.

Ponto de entupimento dos filtros.

Dentre as características citadas do biodiesel o ponto de entupimento deve ser levado em consideração. Segundo Cavalcante *et al* (2011), o ponto de entupimento determina a maior temperatura em que o biodiesel não flui por um filtro padronizado ou leva mais de 60 segundos para passar pelo mesmo.

O Quadro 2 mostra valores para as propriedades de Ponto de Névoa e Ponto de Fluidez para as biomassas de Dendê, Soja, Algodão e Sebo de boi em um ensaio realizado.

Biomassa	Ponto de Névoa (°C)	Ponto de Fluidez (°C)
Dendê	4,00 a 6,00	0,00 a 3,00
Soja	-1,00 a 3,00	-6,00 a 0,00
Algodão	4,00 a 7,00	-4,00 a 3,00
Sebo de boi	8,00 a 15,00	3,00 a 9,00

Quadro 2. Pontos de nevoa e de fluidez para Biodiesel de origens diversas.
Fonte: Cavalcanti, 2013 adaptado por Knothe (2006).

Segundo Ramiro (2013), “em regiões de clima mais frio, as baixas temperaturas provocam o surgimento de cristais no biodiesel”. E vai crescendo à

medida que aumenta a quantidade de cadeias saturadas, como nas gorduras. A cristalização pode criar problemas no motor como o entupimento de filtros e bicos injetores e, para avaliar esta propriedade, a ANP utiliza o ensaio de ponto de entupimento de filtro a frio.

A viscosidade e densidade de um combustível são consideradas de grande relevância. Pois são determinantes para o processo de atomização e também influenciam na eficiência da combustão (CARVALHO *et al*, 2014).

Para Cavalcanti (2013), o uso de um combustível de grande viscosidade pode ocasionar vários problemas ao motor, como queda de pressão na bomba e nos injetores, baixa pressão de injeção e o grau de atomização do combustível no cilindro e penetração excessiva do jato de combustível na câmara de combustão. No entanto, deixa claro que a viscosidade muito baixa também pode acarretar problemas, como dispersão excessiva e lubrificação inadequada do sistema de injeção.

Segundo Faria, Pinto e Valle (2010), a eficiência da combustão e da emissão de poluentes está diretamente ligada à relação de mistura ar/combustível. Quanto mais homogênea for a mistura, melhor será o desempenho do motor. A homogeneidade da mistura ar/combustível é afetada pela atomização do combustível na câmara de combustão.

Conforme Dapieve (2015), o ponto de névoa é um parâmetro estabelecido pela norma ASTM D2500. É definido como a temperatura limite de uma amostra líquida abaixo da qual se torna observável a formação de cristais de hidrocarbonetos após arrefecimento em condições controladas. O autor também relata em suas pesquisas que o ponto de fluidez de um combustível é um indicador da menor temperatura em que pode ser usado para certas aplicações como bombeamento ou escoamento do combustível e pode afetar sua utilização principalmente em climas frios.

2.8 Ensaio Dinamométricos de Motores Diesel

Para Farias (2014), uma forma de realizar ensaios em motores de ciclo ótto e diesel em laboratórios é fazendo uso do dinamômetro. Este equipamento é de fundamental importancia para medir o desempenho das máquinas agrícolas.

Segundo Giacosa (2000), o objetivo de um ensaio dinamométrico é avaliar o comportamento e desempenho de um motor, extraíndo dados que nos permitem calcular o torque e potência gerados pelo seu funcionamento em função de sua rotação. Existem várias maneiras distintas para se frear essas máquinas, em consequência disto, desenvolveram-se dinamômetros que trabalham com sistemas diferentes para se estudar um motor. Giacosa (2000) relata a importância do uso do dinamômetro de Corrente de Foucault, também conhecido como dinamômetro de correntes parasitas. O dinamômetro de corrente de Foucault utiliza princípios eletromagnéticos para colocar uma máquina à prova.

Ao contrário dos dinamômetros por inércia, o dinamômetro de Corrente de Foucault é capaz de aplicar uma elevada taxa de variação de carga de forma mais controlada, permitindo a aplicação de um estado estacionário mais estável, assim como imprimir uma aceleração desejada. Basicamente, esse tipo de dinamômetro é constituído por um rotor que é acionado pela máquina em prova, o qual gira sob a ação de um campo magnético gerado por um conjunto de bobinas.

A intensidade do campo magnético pode ser controlada através da corrente que passa pela bobina, conseqüentemente, variando a carga aplicada à máquina. Usualmente são utilizados discos de ferro fundido solidários ao eixo motriz a fim de transmitir a carga para a máquina. Um sistema de arrefecimento também é necessário para dissipar o calor gerado pelas correntes parasitas que são criadas durante o processo. A reação das forças eletromagnéticas sobre o eixo são medidas através de um braço de torque fixo à carcaça onde estão montadas as bobinas.

Segundo Farias (2014), existem algumas normas que devem ser seguidas na realização de um ensaio dinamométrico. A fim de estabelecer uma metodologia padronizada que permita levantar informações quantitativas do desempenho de um trator, o autor relata o uso da norma DIN 70020 em um ensaio realizado cujo este determina a temperatura do combustível na entrada da bomba de alimentação.

O Quadro 3 mostra os valores de temperatura do combustível para ensaios com diferentes normas.

Norma	Pressão atm. (bar)	Temp. ambiente (°C)	Temp. combustível (°C)	Tipo combustível (kJ/kg)	Potência obtida (%)
SAE J1995	1	25	40	43 300	111
ISO 14396	0,99	25	37-43	RF75T96	107
SAE J1349	1	25	40	43 300	104
ECE R24	0,99	25	40,5	RF03A84	104
DIN 70020	1	20	40	Fabricante	100
80/1269/CEE	0,99	25	40,5	Fabricante	99
97/68/CE	0,99	25	33-43	-	107
OECD	> 0,966	16-30	Fabricante	Fabricante	-

Quadro 3. Comparação de valores de temperatura do combustível para diferentes normas.
Fonte: Farias (2014, adaptado de Márquez 2012).

As informações listadas no Quadro 3 são predominantes para a correta medição do desempenho do trator durante o ensaio. Deve se enfatizar que, para a norma utilizada no ensaio, requer temperatura do combustível de 40°C DIN 70020, no entanto, Farias (2014) descreve a possibilidade do uso de todas as normas regulamentadas para a realização desse tipo de ensaio.

Segundo o autor, o código da OECD, que consiste no código oficial tido como padrão para ensaios de desempenhos de tratores agrícolas, é ISO 789/1 (1990). ISSO 2288 (1979) e NBR 5484 (1985) ou NBR 1585 (1996).

3. MATERIAL E MÉTODOS

A construção da bancada e execução dos ensaios de calibração aconteceram no laboratório de mecanização agrícola da universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Para obter os resultados conforme objetivo descrito, optou-se inicialmente pela divisão do projeto em etapas, que serão apresentados na seguinte ordem:

- a) Desenvolvimento do circuito e execução do sistema de aquecimento;
- b) Dimensionamento de peças e equipamentos que serão utilizados no projeto;
- c) Seleção dos materiais e levantamento de custos para elaboração do projeto;
- d) Execução técnica do circuito de funcionamento;
- e) Etapa de programação para o sistema de aquecimento;
- f) Calibração do sistema de aquecimento;
- g) Ensaios com a utilização da bomba EGGERS modelo FM3-100.

3.1 Diagramas de funcionamento do sistema de aquecimento do experimento

A Figura 3 apresenta um diagrama de funcionamento do sistema de aquecimento. O desenvolvimento do circuito se dá através de um *software* conhecido como *Automashion Studio*, versão gratuita.

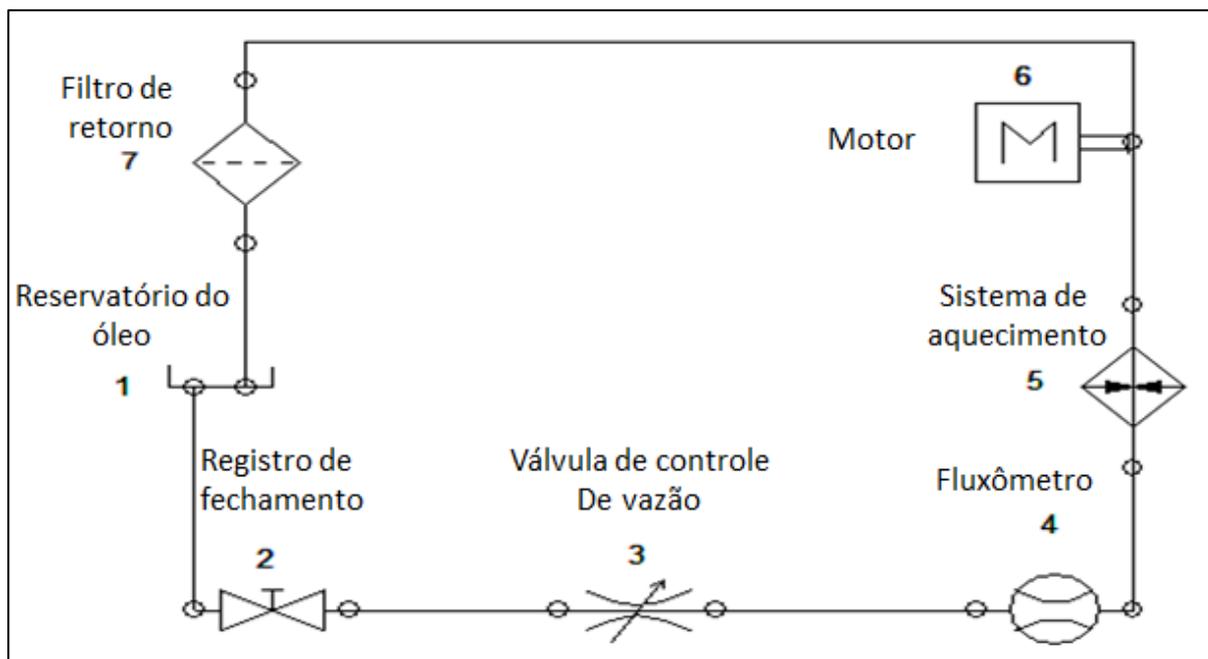


Figura 3. Diagrama de funcionamento do sistema de aquecimento.
Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

1	Duplo Reservatório de óleo
2	Registro de fechamento
3	Válvula de controle de vazão variável
4	Medidor de fluxo "Fluxômetro"
5	Sistema de aquecimento
6	Motor a combustão
7	Filtro de retorno ao tanque

Quadro 4. Descrição do sistema de funcionamento.
Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Rocha (2016) executou parte do circuito de funcionamento do projeto. O autor projetou e construiu o item 1, que refere-se aos reservatórios de óleo para realização do ensaio. Foram fabricados, na ocasião, dois reservatórios de em aço Inóx 316L de formato cilíndrico com capacidade de 20 litros. Os reservatórios são usados para armazenar os combustíveis separadamente para a realização de ensaios. A Figura 4 mostra a vista frontal e superior e uma imagem dos reservatórios com suas dimensões.

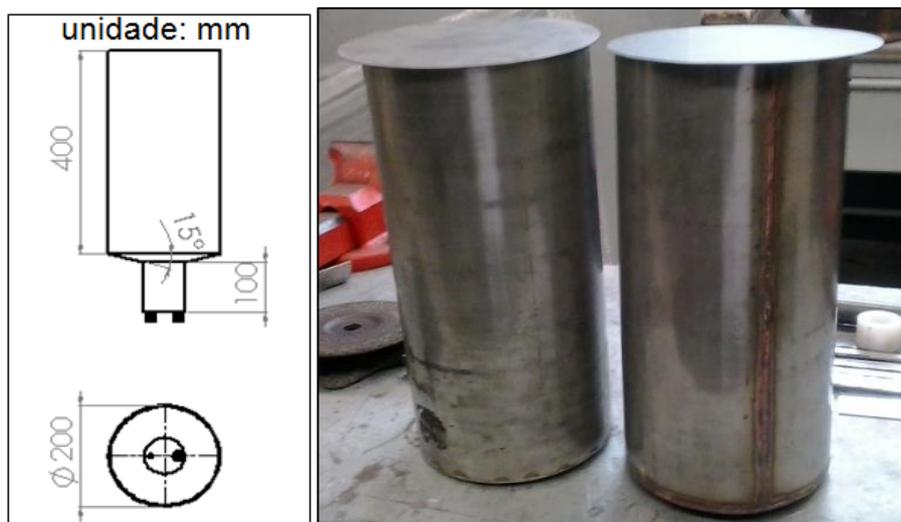


Figura 4. Vista frontal e superior e imagem dos reservatórios.
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Foi construído um suporte em material de aço com formato retangular 30mm x 40mm, para manter os reservatórios fixados. A Figura 5 mostra as vistas técnicas do suporte com os reservatórios inseridos e suas dimensões.

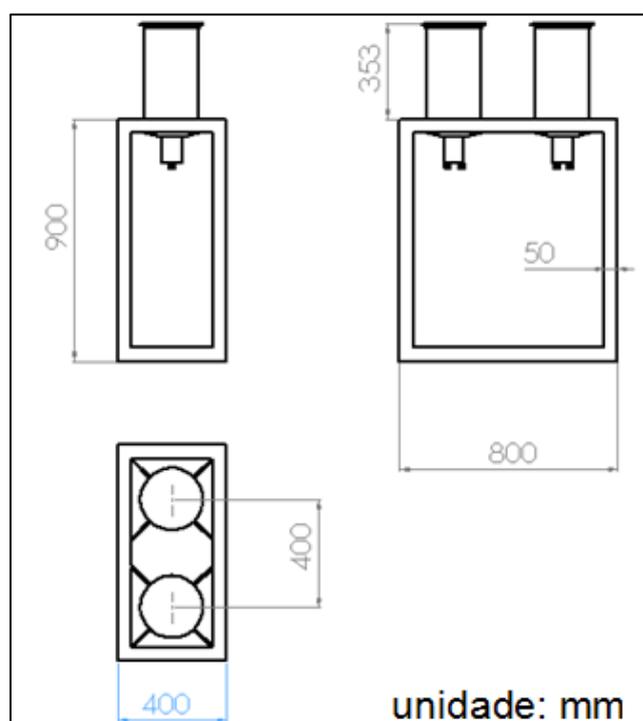


Figura 5. Vistas técnicas do suporte com reservatórios fixados.
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

O projeto ainda dispõe de conexões e mangueiras para a distribuição dos combustíveis dos reservatórios para o motor, duas válvulas de registro de

fechamento e duas válvulas reguladoras de fluxo para controle de vazão em cada reservatório. A Figura 6 mostra o projeto construído da bancada com os componentes de 1 a 4.



Figura 6. Fabricação da bancada com componentes de 1 a 4.
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Os componentes 6 e 7, da Figura 8, referentes ao motor de combustão interna e filtro de retorno já se encontram na máquina agrícola (trator). O presente trabalho foi projetar e construir um sistema de aquecimento referente ao item 5, o qual se refere ao sistema de aquecimento.

3.2 Sistema de aquecimento

A Figura 7 mostra o circuito de funcionamento do sistema de aquecimento, que foi desenvolvido por um *software* conhecido como *Fritzing*. Este *software* dispõe de suas configurações gratuitas.

um botão as duas funções e ainda ocupando menos espaço. A Figura 9 mostra a botoeira de liga e desliga usada no projeto.



Figura 9. Botoeira liga e desliga usada no projeto.
Fonte: Mundo da elétrica (2020).

Um microcontrolador de fácil ligação, também conhecido como Arduino Nano (versão 3.0). Sua finalidade é receber os sinais do sensor de temperatura e, conforme a programação de temperatura, aciona relé de estado sólido que possibilita a passagem de corrente até as resistências elétricas.

Segundo Renna (2013), o Arduino faz parte de um conceito de *software* e *hardware* de fácil programação, sendo microcontrolado com acessos de entrada e saída (I/O) os quais existem bibliotecas com funções que simplificam sua programação por meio de linguagens C e C++. Renna (2013) resume o uso do Arduino como um kit de desenvolvimento capaz de mensurar variáveis do ambiente externo como sinal elétrico de sensores ligados aos seus terminais de entrada. Também pode atuar no controle ou acionamento de alguns elementos eletrônicos em seu terminal de saída.

A Figura 10 mostra uma imagem de um Arduino nano versão 3.0 que foi utilizado no projeto.

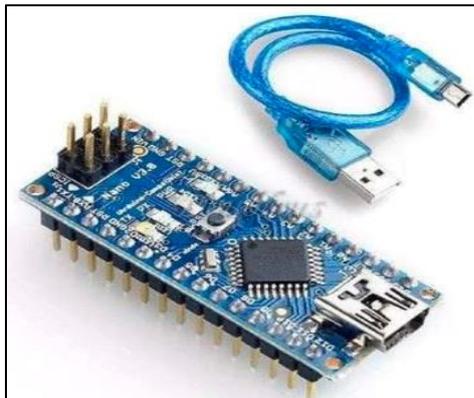


Figura 10. Arduino Nano (versão 3.0).
 Fonte: <https://www.botnroll.com> (2019).

Um display (LCD 16K2) que mostra os valores de temperatura do biodiesel armazenado, da água no tanque de aquecimento e do biodiesel na saída do sistema de aquecimento e entrada do motor. Através do menu de configurações, foi realizada a programação de temperatura desejada para o ensaio.

O display é um módulo LCD com interfaces de saída muito usadas em sistemas microprocessados. Este tipo de módulo utiliza um controlador próprio que permite sua interligação com outras placas através de seus pinos, que é alimenta o módulo e é interligado ao barramento de dados e controle do módulo com a placa do usuário. Além de alimentar e conectar os pinos do módulo com a placa do usuário, deve ter um protocolo de comunicação entre as partes que envolvem o envio de *bytes* de instruções e *bytes* de dados pelo sistema do usuário (BARBACENA 1996).

A Figura 11 mostra a imagem de um Display LCD 16 x K2 que foi utilizado no projeto.

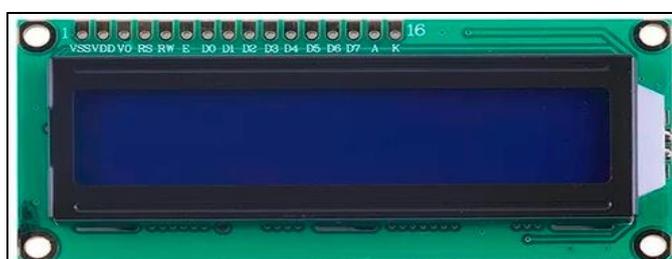


Figura 11. Display LCD 16K2.
 Fonte: <https://www.filipeflop.com> (2019).

Para coletar os valores de temperaturas nos fluidos, foi utilizado dois sensores de temperatura modelo pt 100 que foram instalados em pontos específicos do tanque de aquecimento e na mangueira que liga o sistema de aquecimento ao motor.

A Figura 12 ilustra um sensor de temperatura do modelo pt100 utilizado no projeto.



Figura 12. Sensor de temperatura pt100.
Fonte: <https://proesi.com.br> (2019).

A Figura 13 mostra o sensor de medida de temperatura pt100 instalado na bancada.



Figura 13. Sensor de medida da temperatura de saída.
Fonte: Arquivo do autor (2019).

O item Rele de estado sólido que possibilita o controle de acionamento das resistências conforme temperaturas estabelecidas. Segundo o manual de instrução SSR 40-80-ac-Novus os reles de estado sólido apresentam inúmeras vantagens com relação aos convencionais. O acionamento acontece por sinais de comando que determina o acionamento da carga sem qualquer tipo de ruídos, faiscamento ou desgaste mecânico.

A Figura 14 ilustra um rele de estado sólido que foi utilizado no projeto.



Figura 14. Rele de Resistência (5V ~250V 25A).
Fonte: <https://www.rhmateriaiseletricos.com.br> (2019).

Além dos componentes citados, o circuito dispõe de um painel de acrílico no qual foram inseridos os componentes elétricos. E, para a montagem do circuito, foram utilizados cabos elétricos, conectores e identificadores para facilitar a compreensão do circuito. A Figura 15 mostra o modelo de quadro utilizado no projeto.



Figura 15. Painel de acrílico.
Fonte: Arquivo do autor (2019).

Conforme o formato e perfil de cada componente elétrico colocado dentro do painel, observou-se a possibilidade de fixação e montagem do circuito adequadamente. Possibilitando também a passagem de cabos e conectores dentro do painel. Com os componentes alocados dentro do painel foram realizadas as marcações para que as furações atendessem as determinadas medidas. A Figura 16 mostra a furação e componentes pré-fixados para locação.



Figura 16. Furação de painel e componentes pré-fixados.
Fonte: Arquivo do autor (2019).

Com a etapa de pré fixação e furação realizada, iniciou-se a montagem do circuito elétrico. Esta etapa foi relativamente longa e minuciosa, na qual realizou-se a soldagem de componentes eletrônicos pelo processo de solda brasagem com material de estanho, conectando os componentes por meio de cabos elétricos. A Figura 17 mostra o ferro de solda e material estanho usados na soldagem dos componentes eletrônicos.



Figura 17. Ferro de solda e material de estanho usado na soldagem dos componentes eletrônicos.
Fonte: Arquivo do autor (2019).

Realizado o processo de junção por soldagem dos componentes eletrônicos selecionados no desenvolvimento do circuito, determinou-se um local específico para a fixação do painel. O local é de fácil acesso, facilitando a locomoção da bancada, como mostra a Figura 18.



Figura 18. Local para fixação do painel elétrico na bancada.
Fonte: arquivo do autor (2019).

Foi fabricado um tanque de formato retangular, em aço inoxidável de classificação 316L com capacidade para 31,5 litros, no qual as resistências elétricas e radiador ficaram fixados. Também foi instalado dentro do tanque o sensor de temperatura. A Figura 19 mostra o desenho em perspectiva do tanque que foi utilizado no projeto.

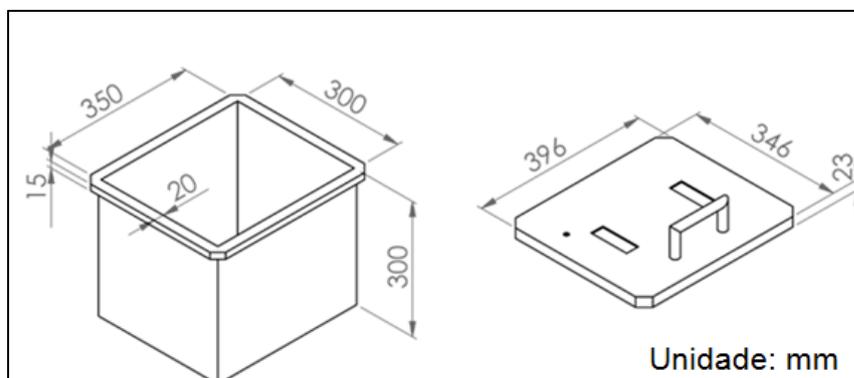


Figura 19. Vista em perspectiva isométrica do tanque de água.
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

O processo de fabricação foi realizado conforme medidas do desenho obtido em software. As medidas do comprimento, largura e altura do tanque foram desenvolvidas para alojar em sua extremidade interna o radiador para passagem do combustível e duas resistências para realizar o aquecimento da água.

Os cortes das chapas foram realizados com lixadeira, utilizando discos de corte e acabamento. As dobras foram executadas em dobradeira manual e cada ângulo

colocado foi conferido individualmente. As etapas foram realizadas minuciosamente para evitar erros de medidas e falhas nas dobras realizadas.

A Figura 20 mostra os processos de traçagem, corte e dobra do reservatório.



Figura 20. Processo de traçagem corte e dobra do reservatório de água.
Fonte: Arquivo do autor (2019).

Dando sequência na fabricação do reservatório de água, executou-se o processo de soldagem, se tratando que a chapa selecionada é de aço Inóx 316L, configuração que torna o material mais resistente aos processos corrosivos, porém aumenta a complexidade de execução da soldagem. O processo de soldagem TIG (*Tungstênio Inert Gás*) se torna o mais adequado por apresentar o gás de proteção inerte “Argônio”, que, neste caso, não tem reações químicas com o material de base “chapa”, inibindo processos de oxidação. A Figura 21 mostra o processo de soldagem TIG no reservatório.



Figura 21. Processo de soldagem TIG no reservatório.
Fonte: Arquivo do autor (2019).

Após realizar o processo de soldagem, foi inserido ao reservatório o radiador de capacidade volumétrica 0,5 litros. O radiador utilizado contém vedações resistentes à alta temperatura gerada durante os ensaios. O combustível que é deslocado do tanque para o motor pode ser aquecido ou resfriado quando passa pelo radiador. A Figura 22 mostra o radiador dentro do reservatório, e também as resistências usadas para aquecer a água.



Figura 22. Radiador e resistências inseridos no reservatório.
Fonte: Arquivo do autor (2019).

3.3 Dimensionamento e escopo do projeto

O processo de dimensionamento dos reservatórios e sistema de aquecimento foi feito com base prática e teórica referenciando aos ensaios com dinamômetros efetuados nos tratores agrícolas.

Segundo Iacono (2017), ao realizar ensaio com dinamômetro em um trator Ford/New-Holland, modelo 7630 4x2 com tração dianteira auxiliar (TDA), ano de fabricação 1995 e que estava com 3196 horas de uso no início dos ensaios utilizando diesel puro, obteve consumo de combustível próximo a 20 litros por hora. Desta forma, o projeto dispõe de uma bancada com dois tanques semelhantes com capacidade para 20 litros, fixados sobre um suporte onde também foi instalado o reservatório de aquecimento do combustível e o painel com os componentes elétricos.

O tanque de água contém volume de água suficiente para o total aquecimento do radiador onde passará o fluxo de combustível. Seu volume equivale a 31,5 litros deixando o radiador e resistências completamente imersos.

Para o cálculo da capacidade volumétrica do reservatório foi usada a seguinte equação:

$$V = B \times L \times H$$

Sendo:

V = volume do reservatório

B = medida da base do reservatório

L = medida lateral do reservatório

H = medida da altura do reservatório

Assim temos:

$$V = 35 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$$

$$V = 31.500 \text{ cm}^3$$

Dividindo este valor por 1000 temos:

$$V = 31,5 \text{ litros}$$

Foram utilizadas, inicialmente, duas resistências elétricas em material inox com potência de 1000 Watts e tensão de 220 Volts imersa no reservatório de água, sendo instaladas uma de cada lado do radiador por onde circula o óleo. Cada resistência possui 220 milímetros de comprimento útil e foram ligadas em série para que suas potências fossem somadas. Assim, ao dimensionar a corrente, observou-se

que a corrente elétrica para o funcionamento do sistema é de nove Amper. Segue o dimensionamento para o uso das resistências:

$$P = U \cdot I$$

P = Potência das resistências (watts)

U = Tensão utilizada no sistema (volts)

I = Corrente elétrica disponibilizada (Amper)

Assim:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{2000}{220} = 9,09$$

Para reduzir o tempo de aquecimento, optou-se por substituir as resistências por duas de 1700 Watts. Assim, tornou-se necessário dimensionar novamente a corrente utilizada no ensaio. Segue o cálculo da corrente necessária para realização do ensaio:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{3400}{220} = 15,45$$

Como o rele de estado sólido tem capacidade para 25 Amper, pode-se manter o mesmo já dimensionado inicialmente.

Os equipamentos relacionados no projeto foram selecionados por suas especificações técnicas conforme seu dimensionamento. As mangueiras e conexões utilizadas no projeto possuem diâmetros de 10mm e suportam temperaturas de 80°C. Outra característica necessária é o isolamento térmico que evita a perda da temperatura do combustível para o ambiente externo.

O sistema de aquecimento foi dimensionado para corresponder à intensidade da temperatura desejada para cada ensaio. O sistema atuará de forma integrada, o que possibilita o controle da temperatura com leituras realizadas por sensores instalados na entrada do sistema de alimentação do motor.

3.3.1. Seleção de materiais e custos para elaboração do projeto

Para a correta seleção dos materiais que foram utilizados na execução do projeto, foi levado em consideração a aplicação dos componentes e condições naturais do ambiente. Para o tanque e sistema de aquecimento, os materiais devem ser de inox para oferecer resistência à corrosão, já que serão expostos a fluidos oxidantes. Os condutores foram adquiridos conforme especificações técnicas de fabricantes, cuja sua finalidade é de conduzir o fluido pelo circuito e suportar as pressões referentes ao sistema que, nesse caso, são relativamente baixas.

O Quadro 5 mostra os componentes, custo unitário e total de cada componente que foi utilizado na construção do projeto.

COMPONENTE	UNIDADE	QTDE	VALOR UNITÁRIO (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
Arduino Nano	Unid	1	35,00	35,00
Sensor de temperatura pt 100	Unid	3	138,00	414,00
Display LCD 16X2	Unid	1	21,72	21,72
Painel de proteção de componentes	Unid	1	83,00	83,00
Botão lay5-be 101 NO NC	Unid	1	15,00	15,00
Resistências elétricas 220v com 1000w	Unid	2	30,00	60,00
Relé de estado sólido 3-32v	Unid	1	18,90	18,90
Resistência elétrica 220v com 1700w	Unid	2	47,50	95,00
Cabos elétricos 1,5mm	M	3	6,00	18,00
Radiador de óleo diesel	Unid	1	500,00	500,00
Chapa de inox 16	m ²	0,65	350,00	227,50
Adaptador 1/4npt duplo	Unid	2	7,00	14,00
Mangueiras hidráulicas	m	5	20,00	100,00
Montagem e soldagem Tig	h	12	100,00	1200
Processo de soldagem eletrônica	h	9	80,00	720,00
Montagem de painel de proteção	h	4	100,00	400,00
Total (R\$)				3922,12

Quadro 5. Custos unitário e total dos componentes utilizados no projeto.

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

O custo estipulado para a fabricação do sistema de aquecimento, somando peças, equipamentos e mão de obra é de R\$3.922,12 (três mil novecentos e vinte e dois reais e doze centavos).

3.4 Execução técnica do circuito de funcionamento.

Com materiais e dispositivos adquiridos, iniciou-se a montagem do circuito de funcionamento da bancada de ensaios.

A Figura 23 mostra um escopo da execução técnica do circuito para que aconteça o deslocamento do combustível, conforme desenvolvido no projeto.

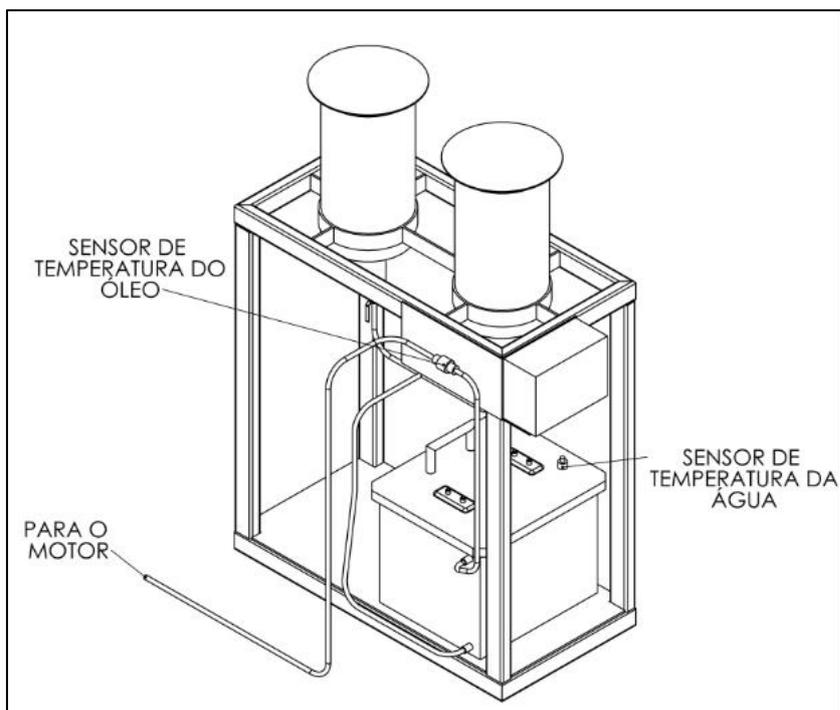


Figura 23. Escopo da realização do projeto.
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A execução do projeto foi realizada de modo a atender as especificações já citadas anteriormente. Mangueiras e conexões que ligam o circuito foram fixadas com abraçadeiras e por meio de conexões rápidas. Também é possível observar o posicionamento dos sensores que medem a temperatura da água e óleo dispostos no circuito. A Figura 24 mostra a ligação para deslocamento do combustível conforme circuito desenvolvido.



Figura 24. Ligação para deslocamento do combustível conforme circuito.
Fonte: Arquivo do autor (2019).

O Arduino Nano e Display foram fixado dentro de um painel compacto, onde ficarão protegidos de quedas ou impactos. O painel foi instalado na bancada junto com o tanque e reservatórios. Cabos elétricos com identificação foram instalados para facilitar possíveis manutenções do sistema.

Foi colocado um sensor de temperatura dentro do reservatório de óleo, outro dentro do tanque de água e, por fim, um sensor ficará diretamente na mangueira de óleo de saída do radiador e entrada na bomba de alimentação.

3.4.1 Etapa de programação para o sistema de aquecimento.

Com a etapa de execução técnica finalizada, iniciou-se o processo da programação e testes de funcionamento da bancada. A primeira parte da programação foi executada para mostrar no display a ligação do sistema com funcionamento manual, que pode ser feito minutos antes da realização dos ensaios, assim já iniciando o aquecimento da água. A Figura 25 mostra a temperatura do painel com a configuração modo manual.



Figura 25. Temperatura do painel no modo manual.
Fonte: Arquivo do autor (2019).

A letra T saída representa a temperatura registrada pelo sensor instalado na saída do radiador que se encontra fixado dentro do reservatório de aquecimento. Este modo permite fazer o acionamento do sistema para que o reservatório seja aquecido antes de iniciar o ensaio com motor, o que possibilita a organização dos equipamentos como notebook e instalação de dinamômetro, enquanto a água é aquecida.

Junto ao sistema de configurações, foi realizada a programação da temperatura da água (T° Água), e temperatura máxima (T° MAX) da água do reservatório. A programação limita a temperatura até 100°C , assim evita o processo de evaporação da água.

A Figura 26 mostra as configurações de temperatura da água e temperatura máxima permissível da água do reservatório.



Figura 26. Configuração da temperatura da água e temperatura máxima.
Fonte: Arquivo do autor (2019).

Para ler a temperatura da água do reservatório, foi inserido um sensor de temperatura PT 100 pela parte superior do reservatório próximo às resistências e o radiador. A Figura 27 mostra o sensor PT 100 inserido pela parte superior do reservatório fixado na tampa.



Figura 27. Sensor PT 100 instalado na tampa do reservatório.
Fonte: Arquivo do autor (2019).

Foi desenvolvido dentro da programação o sistema de leitura para aquecimento com temperatura controlada, ou seja, uma temperatura determinada para ensaios no qual é possível fazer a configuração através do display. O item T° SP representa a temperatura programada para ensaios. O rele de estado sólido se mantém acionado, possibilitando a energização das resistências que estão imersas no reservatório de água até o momento em que T° saída for igual T° SP.

A Figura 28 mostra a configuração de ajuste para realização de ensaios com Temperatura de saída (T° saída) e temperatura de programação (T° SP).



Figura 28. Configuração da temperatura para ensaios.
Fonte: Arquivo do autor (2019).

Para desenvolver o programa com as funções mostradas no Display, que determina a temperatura da água e do combustível no modo manual e automático, utilizou-se um sistema de linguagem denominado C++, conforme mostrado no anexo 1. As configurações realizadas pelo o Arduino IDE-1.8.10 são sequências de leituras disponibilizadas através dessas linguagens, e todo o passo é mostrado na Figura 29.

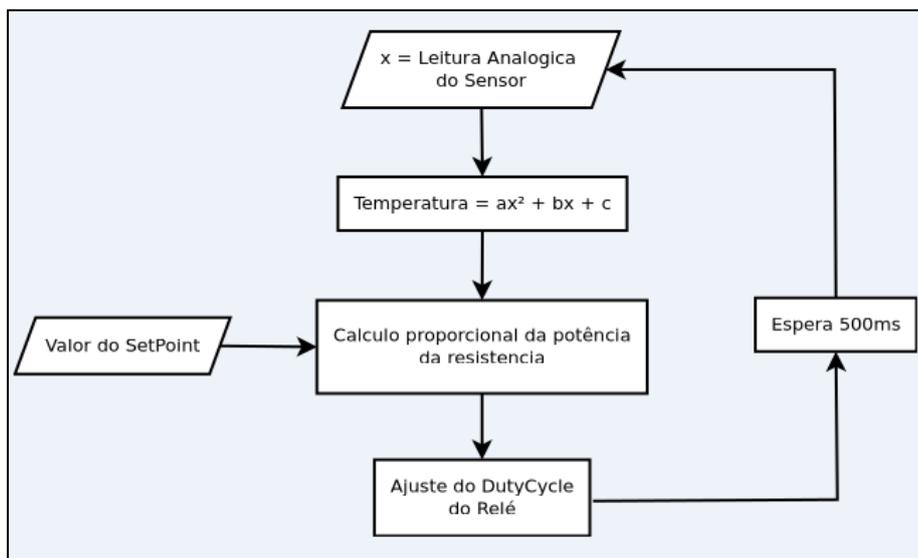


Figura 29. Fluxograma de funcionamento do sistema de linguagem.
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O fluxograma mostrado na Figura 29 detalha a sequência do funcionamento do dispositivo de linguagem. O primeiro ponto de leitura representado mostra a leitura analógica do sensor de temperatura em função da equação $temperatura = ax^2 + bx + c$ que, ao registrar o valor do *SetPoint* do display dado pela temperatura SP, realiza o cálculo proporcional da potência da resistência, assim é realizado o ajuste de energia disponível ao relé dado pelo ajuste *DutyCycle* do relé. O tempo de espera para o ajuste é de 500 milissegundos, iniciando o ciclo novamente.

Para calibrar os sensores de temperatura com os dados atualizados no display, foi utilizado um termômetro de escala de -10°C a 150°C . O termômetro proporcionou maior precisão para conferência dos dados. A Figura 30 mostra o termômetro utilizado para a calibração de temperatura dos sensores de água e de saída do combustível do radiador para entrada da bomba de alimentação do motor.



Figura 30. Termômetro usado na calibração dos sensores.
Fonte: Arquivo do autor (2019).

As medições de consumo específico (g kWh^{-1}) e consumo horário (Lh^{-1}) de combustível foram feitas através de um fluxômetro, marca Eggers, modelo FM3-100.

O fluxômetro dispõe de uma bomba com vazão total de 10 litros por minuto, que também foi utilizada para realização dos ensaios de calibração.

A Figura 31 mostra o fluxômetro.



Figura 31. Fluxômetro EGGERS modelo FM3-100.
Fonte: Galick (2017).

Para realizar a medição do tempo durante os ensaios, foi utilizado um cronômetro. O cronômetro foi zerado ao iniciar cada ensaio e foi feita a leitura todas as vezes que a variação da temperatura atingisse 5°C.



Figura 32. Cronômetro digital.
Fonte: confemeta.com.br (2020).

3.5 Calibração do sensor de temperatura da água (T° Água)

Para o procedimento de calibração da temperatura do sensor inserido no reservatório de água, foi usado termômetro de mercúrio com escala de -10°C a

150°C. Foram comparados os valores de temperatura registrados no display com o termômetro iniciando em temperatura ambiente de 20°C até 60°C, e realizou-se o mesmo procedimento no decréscimo da temperatura da água do reservatório. A Figura 33 mostra o termômetro inserido no reservatório de água, próximo ao sensor de temperatura.



Figura 33. Termômetro e sensor de temperatura no reservatório de água.
Fonte: Arquivo do autor (2019).

Para o ajuste da temperatura registrada pelo sensor com a temperatura apresentada no termômetro, buscou-se uma aproximação máxima dos pontos de medição no intuito de evitar possíveis variações entre as medidas de temperatura apresentada pelo sensor com a temperatura da água.

As leituras foram realizadas em intervalos de 5°C, desprezando o intervalo de tempo. Deu-se início em 20°C e finalizando em 60°C; posteriormente, repetiu-se o procedimento para o decréscimo da temperatura. Inicialmente, os valores dos dados atualizados tiveram acréscimo ou decréscimo de 01 decimal para cada 1°C de temperatura. A Figura 34 mostra um ponto dos valores de dados atualizados do programa no display durante a calibração.

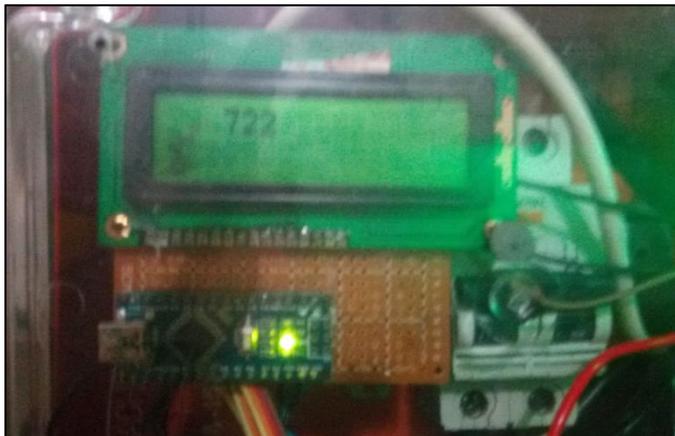


Figura 34. Valor de dado atualizado no display durante a calibração.
Fonte: Arquivo do autor (2019).

3.6 Calibração do sensor de temperatura do óleo (T° saída)

Para o sistema no modo automático, foram realizados os mesmos procedimentos. Porém, neste processo, o sensor a ser calibrado é o PT100 que se encontra conectado ao circuito de saída do sistema que determina a temperatura de ensaio da bancada. Para registrar a temperatura, foi ligada ao circuito inicialmente uma bomba 12 volts de 2,5L/min (litros por minuto) para movimentar o fluido pelo circuito. O fluido se movimenta do tanque para o radiador e, ao passar pelo sensor de saída, registra a temperatura e logo após é inserido o termômetro para comparação da temperatura.

A Figura 35 mostra como foi realizado o procedimento de calibragem do sensor de temperatura do combustível. O termômetro inserido ao circuito junto com o sensor de saída mede a temperatura do combustível no momento em que o sistema atingiu a temperatura de (T° SP) indicada no display.



Figura 35. Termômetro inserido junto ao sensor de saída.
Fonte: Arquivo do autor (2019).

Foi efetuada uma segunda medição com a bomba ligada, para validar os dados apresentados no display com o valor apresentado no termômetro. Nesta etapa, o termômetro foi inserido em um galão o qual recebeu o óleo do retorno logo após o sensor de saída. A Figura 36 mostra o termômetro inserido dentro do galão de óleo do retorno.



Figura 36. Termômetro inserido ao galão de óleo de retorno.
Fonte: Arquivo do autor (2019).

Para garantir a eficiência no processo de calibração, realizou-se outro ensaio colocando um termômetro na saída do fluido para o tanque de retorno. A Figura 37 mostra o termômetro inserido no final do circuito diretamente no reservatório.



Figura 37. Termômetro inserido no final do circuito de biodiesel.
Fonte: Arquivo do autor (2019).

As etapas de calibração foram realizadas em dias de temperaturas relativamente próximas, que variaram de 25°C a 27°C. O local para a realização dos testes foi em ambiente fechado, porém não foi realizado nenhum tipo de medição da corrente de ar, o que impossibilita dados que representam possíveis perdas de temperatura do circuito e entre os intervalos de medições.

Para simular o ensaio em dias de baixa temperatura, foram colocados inicialmente 06 quilos de gelo no reservatório de água, a fim de reduzir a temperatura da água o suficiente para estabilizar a temperatura do biodiesel com a bomba ligada até que atingisse 20°C. A Figura 38 mostra o gelo inserido no reservatório de água.



Figura 38. Reservatório de água com gelo.
Fonte: Arquivo do autor (2019)

Depois de estabilizada a temperatura do biodiesel com a temperatura interna do reservatório de água, iniciou-se os ensaios com a verificação de temperatura a cada 5°C, sendo registrado também o tempo necessário para adquirir os dados dos intervalos de temperatura.

3.7 Ensaio com a utilização da bomba EGGERS modelo FM3-100.

Para a realização do ensaio com diesel, também foi utilizada a bomba com fluxômetro, marca Eggers, modelo FM3-100. A vazão apresentada para o ensaio foi de 3,5L/min, e todo o combustível de sucção foi direcionado para o retorno. Neste ensaio, foi utilizada a mesma quantidade de gelo e combustível que o ensaio anterior.

Importante salientar que a resistência usada para este ensaio também é 1000 Watts de potencia cada. A Figura 39 mostra o sistema montado para a realização do ensaio.

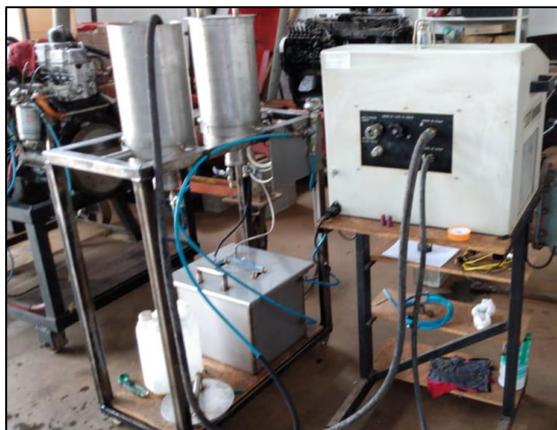


Figura 39. Sistema montado para realização do ensaio com diesel
Fonte: Arquivo do autor (2019).

A temperatura ambiente no momento do ensaio era de 27°C precisando estabilizar o diesel a 20°C, para que desse início ao ensaio. Foi feito um monitoramento da temperatura do diesel no reservatório durante o ensaio, que não apresentou variações com relação ao sensor calibrado. A Figura 40 mostra a temperatura do diesel no início do ensaio.

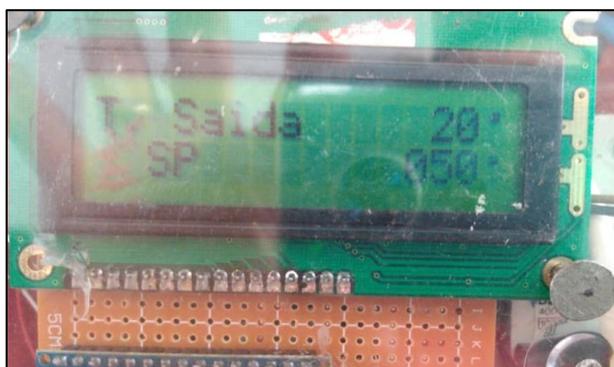


Figura 40. Temperatura do diesel no início do ensaio.
Fonte: Arquivo do autor (2019)

3.8 Ensaio com resistências de 1700W

Para este ensaio, foi utilizado volume de diesel de 08 litros. Também foi inserido no reservatório de água 09 quilos de gelo. A bomba Eggers manteve-se com a mesma vazão do ensaio anterior, porém foi utilizado o circuito de injeção com saída para outro reservatório, gerando uma vazão para injeção de 0,2L/min, sendo separado do tanque de retorno.

Como os sensores já se encontram calibrados, para este ensaio foi registrado apenas o tempo de aquecimento do diesel a cada 05°C para avaliar a eficiência de aquecimento das resistências.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios realizados mostraram as correções das temperaturas dos sensores de água e de saída antes e após a calibração. Os valores registrados no ensaio com o sensor calibrado apresentam grande semelhança com as temperaturas verificadas no termômetro utilizado nos pontos de medição.

4.1 Ensaio de funcionamento e calibração com Biodiesel B100

A Tabela 1 mostra os valores decorrentes do processo de calibração com a comparação das temperaturas do termômetro, sensor de saída antes da calibração e sensor já calibrado usando biodiesel B100.

t(s)	t(min)	Termômetro (°C)	Sensor (°C)	Sensor Calibrado (°C)
0	0	20	10	19
379	6m19s	25	20	27
586	9m46s	30	25	31
845	14m05s	35	30	35
1193	19m53s	40	35	40
1521	25m21s	45	40	45
1851	30m51s	50	44	49
2244	37m24s	55	49	54
2652	44m12s	60	54	60
3056	50m56s	64	59	65

Tabela 1. Valores de temperaturas do sensor de saída antes e após calibração
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A Figura 41 representa os valores coletados durante o processo de calibração usando o biodiesel B100. Com os dados apresentados durante os intervalos de tempo, observou-se que houve um erro notório entre as temperaturas apresentadas pelo sensor antes de realizar a calibração com a temperatura do termômetro. Ao iniciar o ensaio, o sensor apresentou em display uma temperatura de 10°C e o termômetro apresentou 20°C totalizando um erro de 50%.

Dando continuidade ao ensaio entre todos os intervalos de temperatura, a menor diferença apresentada foi no momento em que o termômetro apresentou entre 25°C a 40°C com diferenças de 5° no sensor, totalizando um percentual de erro de 20% em cada intervalo.

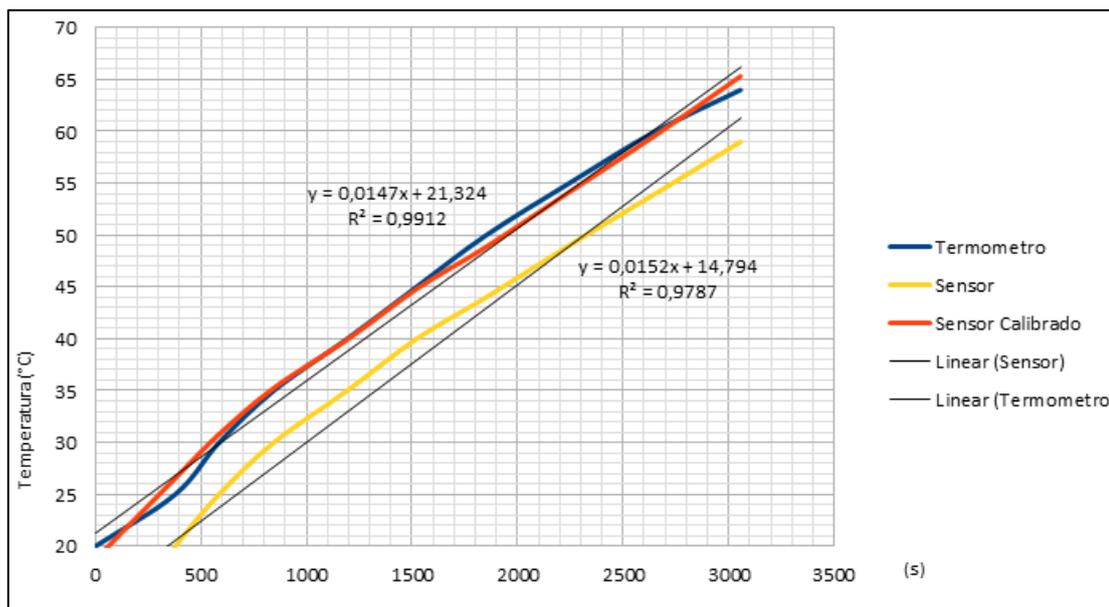


Figura 41. Temperatura do biodiesel antes e após a calibração.

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Com a representação gráfica, é possível observar pela linha amarela (que representa o sensor antes da calibração) a diferença de temperatura apresentada pelo termômetro (representado pela linha azul). Nota-se que, após o processo de calibração, as temperaturas apresentadas pelo sensor calibrado - representado pela linha vermelha - aproximaram-se relativamente da temperatura do termômetro.

É possível observar o erro de temperatura antes de calibrar o sensor e depois de calibrado. Seguem, na Tabela 2, os dados coletados de temperaturas registradas do sensor antes e depois da calibração, que variam entre 20°C a 65°C.

Sensor (°C)	Sensor Calibrado (°C)
10	19
20	27
25	31
30	35
35	40
40	45
44	49
49	54
54	60
59	65

Tabela 2. Temperaturas registradas pelo sensor antes e após a calibração.

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

É possível observar na Tabela 3 uma diferença maior entre a temperatura registrada pelo sensor e temperatura real calibrada nos pontos de temperaturas entre

20°C a 25°C, em que o sensor de saída apresentou temperatura de 20°C e, depois de calibrado com o termômetro registrou, 27°C. Nos demais pontos a diferença foi menor, variando entre 5°C e 6°C.

Ao analisar a Tabela 3, observa-se os valores registrados da temperatura do termômetro e sensor calibrado e tempo entre os intervalos.

Tempo (s)	Tempo (min)	Termômetro (°C)	Sensor Calibrado (°C)
0	0	20	19
379	6m19s	25	27
586	9m46s	30	31
845	14m05s	35	35
1193	19m53s	40	40
1521	25m21s	45	45
1851	30m51s	50	49
2244	37m24s	55	54
2652	44m12s	60	60
3056	50m56s	64	65

Tabela 3. Valores registrados de temperatura e tempo entre os intervalos.
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Para representar os dados registrados durante o ensaio, gerou-se um gráfico com os intervalos de tempo e temperatura apresentados pelo termômetro e registrados pelo sensor calibrado. A Figura 42 é representada pela temperatura do termômetro e sensor de saída calibrado para o biodiesel.

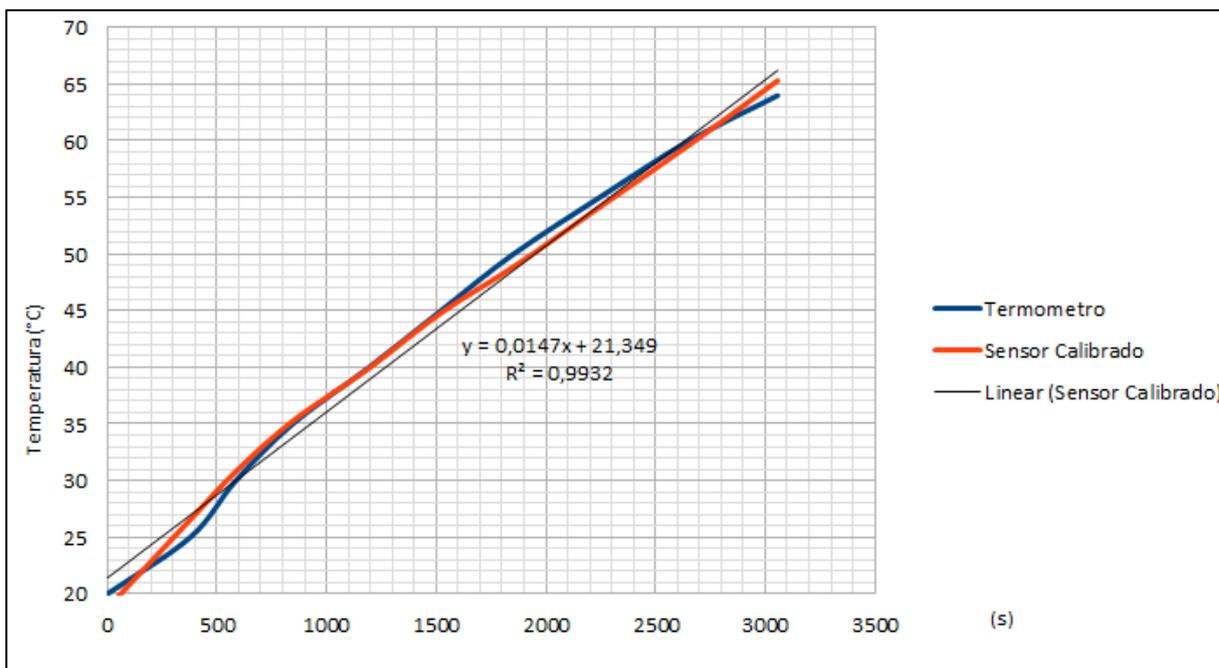


Figura 42. Temperatura do termômetro e sensor de saída calibrado para o biodiesel.
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Pode-se observar no gráfico que as temperaturas registradas pelo termômetro inserido ao tanque de retorno e registradas pelo sensor calibrado obtiveram comportamentos relativamente similares em todo o ensaio.

Houve uma variação no segundo intervalo do ensaio de 25°C a 30°C, o qual o termômetro apresentou 25°C e no display o sensor calibrado apresentou 27°C. Nos demais intervalos a diferença apresentada é no máximo 1°C.

Neste ensaio, observou-se que o tempo de aquecimento do biodiesel para alcançar 65°C foi de aproximadamente 51 minutos, e no intervalo de 25°C a 30°C teve o menor tempo, que se aproximou de 3 minutos. No intervalo de 50°C a 55°C, obteve-se o maior tempo, que é de 7 minutos.

4.3 Ensaio de funcionamento do sistema com diesel

Para o ensaio de funcionamento do sistema de aquecimento com o uso de diesel puro, com temperaturas de 20°C a 50°C, foi possível observar que, ao alcançar a temperatura $T^{\circ}SP = 50^{\circ}C$, o sistema manteve-se estável conforme mostrado na tela do display. Figura 43 mostra a temperatura final do ensaio com diesel.



Figura 43. Temperatura final de ensaio com diesel.
Fonte: Arquivo do autor (2019).

O controle de energia para o acionamento das resistências proporcionou ao sistema ligar ou desligar durante o ensaio sempre que a temperatura atingir ou reduzir 1°C.

Para analisar o tempo de resposta de aquecimento do sistema utilizando as resistências de 1000 Watts, foi realizada a anotação do tempo através de um cronometro.

A Tabela 4 mostra os dados de tempo e temperatura coletados durante o ensaio com diesel.

Temperatura (°C)	Tempo(s) 1000W
20	0
25	856
30	1268
35	1593
40	1965
45	2374
50	2806

Tabela 4. Dados de tempo e temperatura do ensaio com diesel.
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Com os dados coletados no ensaio, foi possível gerar um gráfico com o sensor de temperatura de saída calibrado. A Figura 44 mostra o tempo de aquecimento com a resistência de 1000 Watts usando combustível diesel.

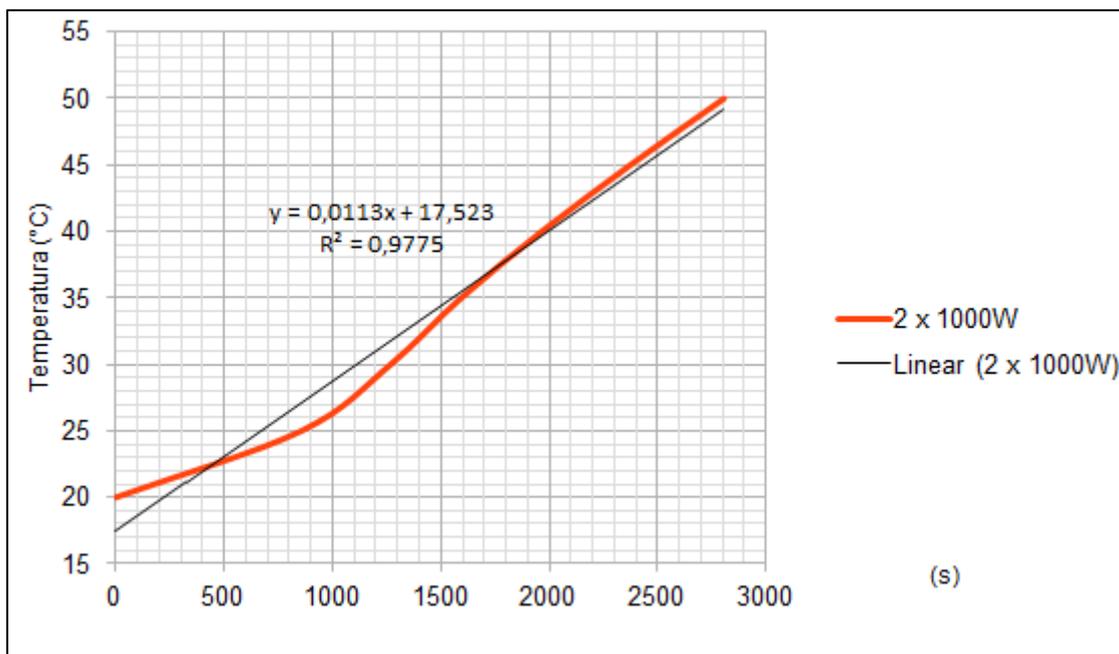


Figura 44. Tempo de aquecimento com a resistência de 1000 Watts no combustível diesel.
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Observou-se, durante o ensaio com e diesel, que o tempo de duração para o aquecimento de 20°C a 50°C é relativamente alto, aproximadamente 47 minutos. Assim, optou-se por trocar as duas resistências de aquecimento da água, que era de 1000 Watts, por duas resistências maiores. Verificando a capacidade do rele de estado sólido, que é de 25 Amper, foi possível substituir as resistências por duas de 1700 Watts.

Notou-se também que, no primeiro intervalo com a temperatura entre 20°C e 25°C, teve-se o maior tempo para aquecimento, que foi de 856 segundos, ou seja, 14,26 minutos. O intervalo de menor tempo ocorreu entre 30°C e 35°C, em que o tempo de aquecimento foi de 325 segundos, ou 5,41 minutos.

4.4 Comparação do tempo de aquecimento entre os ensaios com biodiesel e diesel

Os ensaios mostraram que, para realizar o aquecimento do biodiesel de 20°C a 50°C, o tempo menor realiza o aquecimento do diesel.

A Figura 45 mostra o gráfico gerado com o tempo de aquecimento do biodiesel e diesel, com temperaturas de 20°C a 50°C.

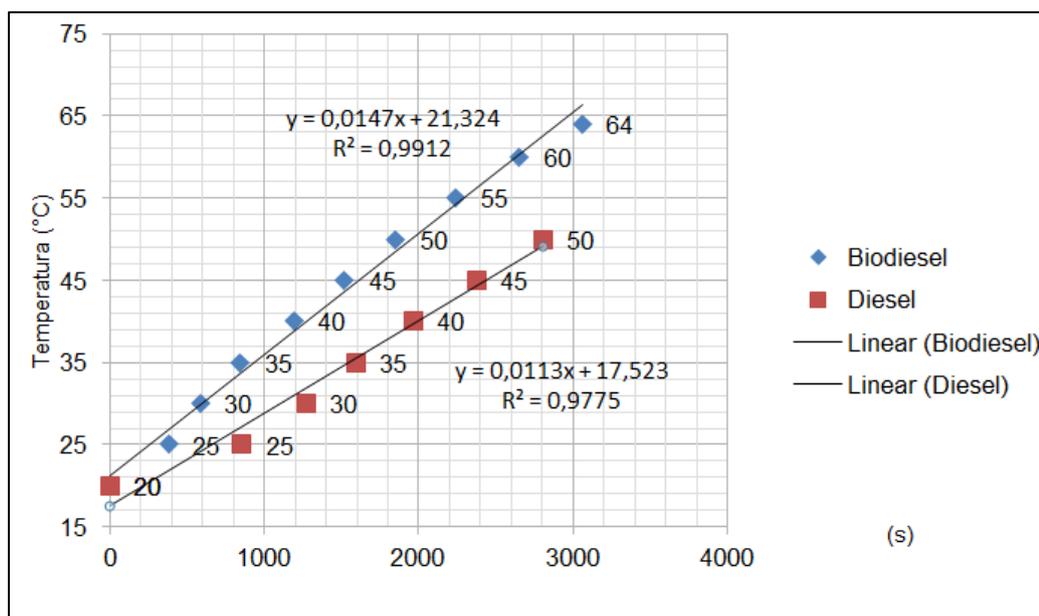


Figura 45. Tempo de aquecimento do biodiesel e diesel.
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

4.4 Ensaio com diesel usando resistências de 1700W

As resistências de 1700 Watts se mostraram mais eficiente para o sistema de aquecimento. O tempo de resposta para todos os intervalos de temperatura foram menores que nos ensaios utilizando as resistências de 1000 Watts.

A Tabela 5 mostra os valores do tempo de aquecimento com a resistência de 1700 Watts e de 1000 Watts.

Temperatura(t°)	Tempo(s) 1700W	Tempo(s) 1000W
20	0	0
25	771	856
30	1096	1268
35	1361	1593
40	1713	1965
45	2036	2374
50	2291	2806

Tabela 5. Tempo de aquecimento com resistências de 1700 Watts e 1000 Watts.
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Com o gráfico de tempo e temperatura das duas resistências, foi possível observar a diferença de tempo para aquecer a água do reservatório. A Figura 46 Mostra a diferença do tempo de aquecimento entre as resistências de 1700 Watts e 1000 Watts.

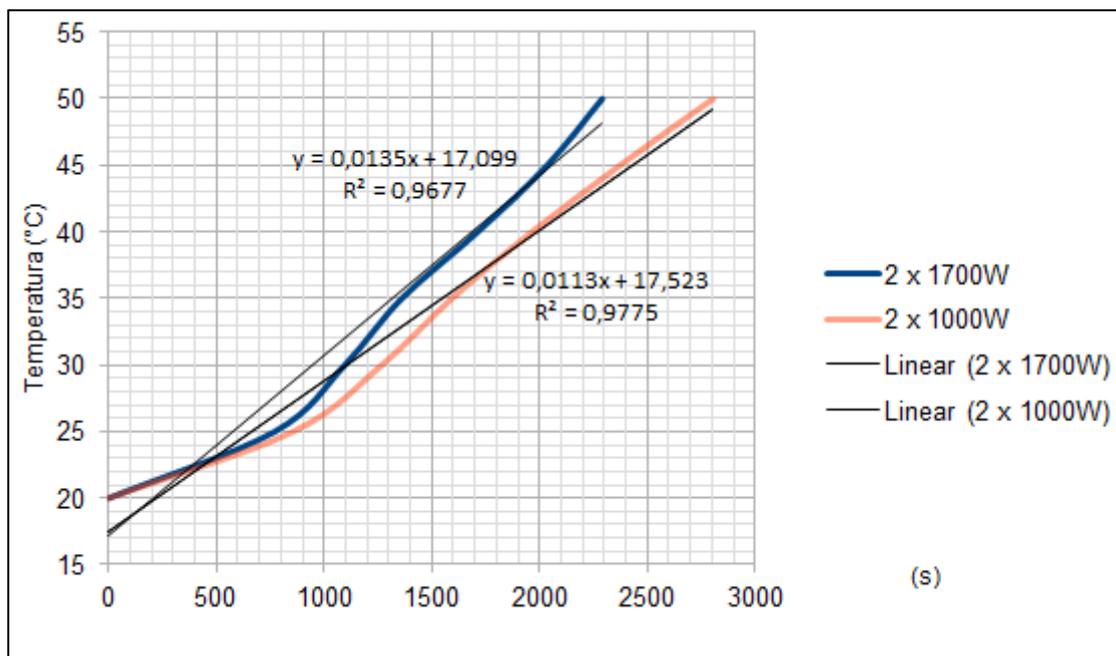


Figura 46. Diferença do tempo de aquecimento entre as resistências de 1700 Watts e 1000 Watts. Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Como mostrado no gráfico, o tempo de aquecimento das resistências de 1700 Watts e 1000 Watts tiveram menor diferença nas temperaturas de 20°C a 25°C, que com a resistência de 1700 watts, levou 771 segundos ou 12,8 minutos. Neste mesmo intervalo, o ensaio com as resistências de 1000 Watts apresentaram tempo de 856 segundos, ou 14,26 minutos.

O tempo total de ensaio para que as resistências de 1700 Watts atingissem 50°C foi de 2291 segundos, ou 38,18 minutos, comparado ao tempo das resistências de 1000 Watts, que é de 2806 segundos (ou 46,8 minutos).

5. CONCLUSÃO

De modo geral, os ensaios realizados com as resistências de 1000 Watts e 1700 Watts possibilitaram controle de temperatura do combustível de saída.

Os dispositivos eletromecânicos usados no projeto mostraram-se confiáveis para realização de ensaios apresentando praticidade e segurança no manuseio dos combustíveis aquecidos.

Os ensaios mostraram estabilidade com diferentes vazões e independente do fluxo de retorno ser junto ou separado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBACENA, Ilton L; FLEURY Claudio. Display LCD. Disponível em: <http://ftp.dca.fee.unicamp.br>. 1996. Acesso em 06 de Julho de 2019.

BORGES, William José. **A trajetória tecnológica das máquinas e equipamentos agrícolas no Brasil**, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações. 2016. Acesso em 30 de novembro de 2018.

CAETANO, Lucas Pereira. **Mapeamento e projeção do consumo de óleo diesel no brasil**. Disponível em: monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10009174.pdf. 2013. Acesso em 10 de dezembro de 2018.

CARVALHO, Joaquim. **Combustíveis fósseis e insustentabilidade**. Disponível em: cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v60n3/a11v60n3.pdf. Acesso em 23 de julho de 2016.

CRUZ, J. C. F., & Arns, S. E. **Biodiesel: uma proposta econômica, social e ambientalmente correta**. *Sociedade Brasileira de Economia, Administração E Sociologia Rural (SOBER)*. 2006. Retrieved from <http://purl.umn.edu/145993>

DAPIEE, Darlan Roque, **Análise da Influência da Temperatura sobre Propriedades Físico-Químicas de Amostras de Diesel, Biodiesel e suas Misturas**. repositorio.utfpr.edu.br Universidade Federal do Paraná. 2015. Acesso em 01 de Junho de 2019.

DIONYSIO, Renata Barbosa; MEIRELLES, Fatima Ventura Pereira. **Combustíveis: A química que move o mundo**. Disponível em: web.ccead.puc-rio.br/condigital/mvsl/Sala%20de%20Leitura/.../SL_combustiveis.pdf. 2011. Acesso em: 25 de julho de 2016.

ESTRADA, Javier Solis. **Desempenho e emissões de um motor de trator agrícola operando com misturas de óleo diesel e etanol**. Universidade Federal de Santa Maria - RS. 2015.

FARIAS, M. S. **Avaliação de motores de tratores agrícolas utilizando dinamômetro móvel**. 162 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014. Acesso em 10 de novembro de 2018.

FERNANDES, Manoel Reginaldo. **Formulação de novos combustíveis base diesel: avaliação de desempenho e emissões**. 156 f. Tese (Doutorado) - Curso de Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Química Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011. Acesso em 01 de dezembro de 2018.

FOLLE, Sérgio Mauro, FRANZ, Claudio Alberto Bento, **Trator agrícola**. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/548601/1/doc31.pdf>. Acesso em 10 de julho de 2018.

GIACOSA, Dante. **Motores Endotérmicos**. Barcelona: Dossat. 1986. Acesso em 30 de julho de 2018.

GOLDENSTEIN, Marcelo; AZEVEDO, Rodrigo Luiz Sias de. **Combustíveis alternativos e inovações no setor automotivo: será o fim da “era do petróleo”?** Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>. 2006. Acesso em 22 de abril de 2016.

HODGSON, P.E. **The energy crisis. Modern Age**. 2008, v. 50, n. 2, pp. 140-147, 2008.

IACONO, Giuseppe Eugênio. **Desempenho do motor de um trator agrícola utilizando misturas diesel-biodiesel-etanol**. Biblioteca Digital de teses e Dissertações. 2017. Acesso 20 de outubro de 2019.

JÚNIOR, Marconi Ribeiro Furtado, **Desenvolvimento de uma plataforma dinamométrica para ensaios de tração em implementos montados**. Biblioteca Digital Brasileira de teses e Dissertações. 2016. Acesso em 06 de dezembro de 2018.

JUNIOR, Vicente Alves Pimenta, **Biodiesel: uso, limitações e implicações técnicas devido à degradabilidade oxidativa**. Biblioteca Digital Brasileira de teses e Dissertações. 2013. Acesso em 25 de novembro de 2018.

JULIATO, Ângelo, **Análise da influência de diferentes misturas de biodiesel no desempenho e emissões de poluentes de um motor diesel agrícola**. Biblioteca Digital Brasileira de teses e Dissertações. 2006. Acesso em 05 de dezembro de 2018.

JUSTEN, Álvaro. **Curso de Arduino**. Disponível em: cursodearduino.com.br. 2013. Acesso em 05 de Julho de 2019.

KNOTHE, G; GERPEN, J.V; KRAHL, J; RAMOS; L.P; **Manual de Biodiesel**. Ed. Editora Blucher, São Paulo, Brasil, 2006. Acesso em 05 de dezembro de 2018.

LEITE, Rogério Cezar de Cerqueira; LEAL, Manoel Régis L. V. **A evolução do etanol e do biodiesel no Brasil**. Disponível em: www.scielo.br/scielo.php de RCC Leite - 2007. Acesso em outubro 2017.

LIMA, Dario Oliveira, SOGABE, Vergilio Prado, CALARGE, Tania Cristina Costa, **Uma análise sobre o mercado do biodiesel**. Disponível em: ageconsearch.umn.edu/record/107939/files/718.pdf Acesso em 30 de julho de 2018.

MACHADO, Paulo Romeu Moreira. **Esteres combustíveis em motor ciclo diesel sob condições de pré-aquecimento e variação no avanço de injeção**. 163 f. Tese

(Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria RS, 2008. Acesso em 10 de dezembro de 2018.

MATTOS, Camila Verissimo Lutckmeier, **Estudo da correlação das propriedades do diesel, biodiesel e suas blends com lubrificidade**. Biblioteca Digital Brasileira de teses e Dissertações. 2012. Acesso em 05 de março de 2019.

MONTEIRO, Leonardo Almeida, SILVA, Paulo Roberto Arbex. **Operação com tratores agrícolas**. Disponível em: www.ufrj.br. 2009. Acesso em 28 de julho de 2018.

NETO, Manoel. **Vantagens e desvantagens no uso do Biodiesel**. Publicado 2 de fevereiro de 2007. Acesso em 30 de abril de 2016.

NOVUS. **Manual de instrução SSR 40-80-AC**. Disponível em: <https://www.novus.com.br>. Acesso em 17 de julho de 2019.

PERREIRA, José Claudio. **Motores e geradores**. Apostila de motores e geradores engenharia mecânica. Disponível em: www.mecanica.ufrgs.br. Acesso em 12 de janeiro de 2020.

RAMIRO, Camile Amanda Fernandez. **Produção e caracterização do biodiesel: estudo e comportamento de antioxidantes**. 2013. Acesso em 30 de outubro de 2017.

REIS, Elton dos, LEONIDIO, Daniel, LACERDA, Sanches, TEIXEIRA, Itamar, **Uso do óleo de soja pré-aquecido em um motor estacionário de ciclo diesel**. Revista Engenharia na Agricultura, Jul/Aug 2015, Vol.23(4), pp.305-314, acesso em 20 de novembro de 2018.

SANTOS, Luís Carlos Aguiar. **Sistema de Injeção Diesel**. 2009. Disponível em: http://ave.dee.isep.ipp.pt/~mjf/act_lect/SIAUT/Trabalhos/2008-09/SIAUT2009_InjeccaoDiesel.pdf. Acesso em: 24 jul. 2017.

SILVA, R. W. C.; PAULA. B. L. **Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural**. Terra Didactic, v.5, n. 1, p.42-49, 2009.

TILLMAN, Antônio da Costa. **Motores de Combustão**. Disponível em: estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/.../motores_combustao_interna_e_seus_sistemas.pdf. 2013. Acesso em 15 de janeiro de 2017.

UDAETA, Miguel Edgar Morales, BAITILO, Ricardo Lacerda, BURANI, Geraldo Francisco, GRIMONI, José Aquiles Baesso. **Comparação da produção de energia com diesel e biodiesel analisando todos os custos envolvidos**, An. 5. Enc. Energ. Meio Rural. 2004. Acesso em 05 de março de 2019.

VIAN, Carlos Eduardo de Freitas, JUNIOR, Adilson Martins Andrade, **Evolução Histórica da Indústria de Máquinas Agrícolas no Mundo**, ESALQ USP, PIRACICABA - SP - BRASIL, 2010. Acesso em 01 de dezembro de 2018.

ANEXO 1 – PROGRAMAÇÃO C++

```
#define mais 16
#define menos 14
#define enter 15
#define sensorSaida A3
#define sensorAgua A4
#define sensorTanque A5
#define rele 7
#define automatico 9
#define manual 10
#include<EEPROM.h>
#include<LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
unsigned int updateTime = 0;
int tela = 0;
String textoLabel[3] = {"T. Saida", "T. Agua", "T. Tanque"};
String textoLabelTemperatura[2] = {"SP", "MAX"};
int temperatura[2] = {0, 0};
int setpoints[2] = {0, 100};
int tempOffset = 665;
int pidFlag = 0;
int tempoRele = 0;
int variavelTemperatura[2];
//Coeficientes para equação de temperatura (AX**2 + BX + C)
float coeficientes[3] = {0.0043021418, -5.2056497, 1561.6458};
int temporario = 0;
byte celsius[] = {
  B00000,
  B00110,
  B00110,
  B00000,
  B00000,
  B00000,
  B00000,
  B00000,
  B00000
};
void setup() {
  lcd.createChar(1, celsius);
  lcd.begin(16, 2);
  pinMode(menos, INPUT_PULLUP);
  pinMode(mais, INPUT_PULLUP);
  pinMode(enter, INPUT_PULLUP);
  pinMode automatico, INPUT_PULLUP);
  pinMode(manual, INPUT_PULLUP);
  pinMode(rele, OUTPUT);
  setpoints[0] = EEPROM.read(0);
  exibir();
}
void loop() {
```

```

if (!digitalRead(automatico) && !digitalRead(manual)) {
//MODO AUTOMATICO
interface();
//Leituras de temperatura a cada 500ms
updateTime++;
if (updateTime > 500) {
variavelTemperatura[0] = analogRead(sensorSaida);
temperatura[0] = variavelTemperatura[0] * variavelTemperatura[0] * coeficientes[0] +
variavelTemperatura[0] * coeficientes[1] + coeficientes[2];
temperatura[1] = analogRead(sensorAgua) - tempOffset;
updateTime = 0;
if (temperatura[1] < setpoints[1]) {
pidFlag = 1;
} else {
pidFlag = 0;
digitalWrite(rele, LOW);
}
}
delay(1);
if (pidFlag == 1) {
if (setpoints[0] - temperatura[0] > 8) {
temporario = 11;
digitalWrite(rele, HIGH);
} else if (temperatura[0] < setpoints[0]) {
temporario = 22;
int dutyCycle = setpoints[0] - temperatura[0];
if ((tempoRele < dutyCycle) && (tempoRele < 8)) {
digitalWrite(rele, HIGH);
} else if (tempoRele < 8) {
digitalWrite(rele, LOW);
} else {
tempoRele = 0;
}
} else {
temporario = 33;
digitalWrite(rele, LOW);
tempoRele = 0;
}
}
exibir();
} else if (digitalRead(manual) && digitalRead(automatico)) {
//MODO MANUAL
interface();
//Leituras de temperatura a cada 1 segundo
updateTime++;
if (updateTime > 500) {
variavelTemperatura[0] = analogRead(sensorSaida) - tempOffset2;
temperatura[0] = variavelTemperatura[0] * variavelTemperatura[0] * coeficientes[0] +
variavelTemperatura[0] * coeficientes[1] + coeficientes[2];
temperatura[1] = analogRead(sensorAgua) - tempOffset;
}
}
}

```

```

updateTime = 0;
if (temperatura[1] < setpoints[1]) {
digitalWrite(rele, HIGH);
} else {
digitalWrite(rele, LOW);
}
exibir();
}
delay(1);
} else {
lcd.clear();
digitalWrite(rele, LOW);
}
}
void exibir() {
char val[] = " ";
sprintf(val, "%02d", temperatura[tela]);
char val2[] = " ";
sprintf(val2, "%03d", setpoints[tela]);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print(textoLabel[tela]);
lcd.setCursor(13, 0);
lcd.print(val);
lcd.setCursor(15, 0);
lcd.write(1);
if (!(digitalRead(automatico)) || tela == 1) {
lcd.setCursor(2, 1);
lcd.print(textoLabelTemperatura[tela]);
lcd.setCursor(12, 1);
lcd.print(val2);
lcd.setCursor(15, 1);
lcd.write(1);
} else if (tela == 0) {
lcd.setCursor(2, 1);
lcd.print("MODO MANUAL");
}
}
void interface() {
//INTERFACE USUARIO
////////////////////////////////////
if (tela == 0) {
//Ajusta o SetPoint em tempo real
if (!digitalRead(mais) && setpoints[0] < 100) {
setpoints[0]++;
EEPROM.write(0, setpoints[0]);
exibir();
while (!digitalRead(mais)) {
}
}
}
}

```

```
if (!digitalRead(menos) && setpoints[0] > 0) {
  setpoints[0]--;
  EEPROM.write(0, setpoints[0]);
  exibir();
  while (!digitalRead(menos)) {
  }
}
}
//Muda a informação a ser mostrada
if (!digitalRead(enter)) {
  if (tela < 1) {
    tela++;
  } else {
    tela = 0;
  }
  exibir();
  while (!digitalRead(enter)) {
  }
}
}
```