



**CLÁUDIO DE CASTRO PAULA BASTOS**

**EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO POR UM MOTOR  
CICLO DIESEL OPERANDO COM DIFERENTES MISTURAS  
DE BIODIESEL**

**LAVRAS – MG**

**2020**

**CLÁUDIO DE CASTRO PAULA BASTOS**

**EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO POR UM MOTOR CICLO DIESEL  
OPERANDO COM DIFERENTES MISTURAS DE BIODIESEL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. M.e Diego José Carvalho Alonso

Orientador

Prof. Dr. Rafael de Oliveira Faria

Coorientador

**LAVRAS – MG**

**2020**

**CLÁUDIO DE CASTRO PAULA BASTOS**

**EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO POR UM MOTOR CICLO DIESEL  
OPERANDO COM DIFERENTES MISTURAS DE BIODIESEL  
PARTICULATE MATTER EMISSION BY DIESEL ENGINE USING DIFFERENT  
BIODIESEL MIXTURES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em

M.e Diego José Carvalho Alonso – UFLA

Dr. Rafael Oliveira Faria – UFLA

Dr. Carlos Eduardo Silva Volpato – UFLA

Prof. M.e Diego José Carvalho Alonso

Orientador

Prof. Dr. Rafael de Oliveira Faria

Coorientador

**LAVRAS – MG**

**2020**

## RESUMO

O Brasil é um país que demanda um volume enorme de diesel em sua matriz energética, principalmente para agricultura, transporte rodoviário de cargas, geração de energia, transporte urbano, transporte ferroviário, entre outros. O material particulado, presente nos gases de escape dos motores diesel é um poluente nocivo à saúde humana. O uso do biodiesel se faz alternativo ao uso do diesel mineral, com algumas justificativas consideráveis devido as suas características, como: menos poluente, proveniente de fonte renovável, biodegradável. Uma das possíveis matérias primas para produção de biodiesel é o óleo residual de cozinha. A destinação de óleo residual de cozinha para a obtenção do biodiesel é vantajosa do ponto de vista ambiental e econômico. Objetivou-se, neste trabalho, quantificar a emissão de material particulado por um motor de trator de ciclo diesel ao operar com biodiesel proveniente de óleo residual de cozinha. Para realização de tal objetivo, foi utilizado, para a coleta de dados, o motor MWM – D225 – 4TVA, de um trator Valmet 85 id, que foi instrumentado com sensor de opacidade no sistema de escape dos gases de combustão. A opacidade foi monitorada ao operar o motor em 800rpm e também 2200rpm. Os combustíveis utilizados foram: diesel comercial (testemunha) e biodiesel proveniente de óleo residual de cozinha em diferentes proporções de mistura ao diesel, B20, B50, B80 e B100. Concluiu-se que os menores valores de opacidade foram obtidos ao utilizar B80 e B100, ocasionando em uma redução de opacidade em torno de 1% em relação ao Diesel (testemunha).

**Palavras-chave:** Opacidade. Combustível. Renovável. Óleo residual de cozinha. Poluição.

## **ABSTRACT**

Brazil is a country that demands a high volume of diesel in its energy matrix, mainly for agriculture, road freight transport, power generation, urban transport, among others. Particulate matter is present in the exhaust gas of diesel engines and it is a harmful pollutant to human health. New technologies for diesel engines and less polluting fuels are developed to minimize this problem. Using biodiesel is an alternative to the use of mineral diesel. Some justifications of this exchange relies on the facts that the biodiesel is less polluting, comes from renewable source, and is biodegradable. It is possible to use waste cooking oil to produce biodiesel. The correct destination of the waste cooking oil is beneficial both to the economy and the environment. The goal of this work was to quantify the opacity emissions by a diesel engine when operating with 800rpm and 2200rpm, with mineral diesel (control) and different proportions of waste cooking oil biodiesel mixed to diesel (B20, B50, B80 and B100). A MWM – D225 – 4TVA engine, of a Valmet 85 id tractor was used for data collection. It is concluded that the lowest opacity values were obtained when using B80 and B100.

**Key words:** Opacity. Renewable. Fuel. Waste cooking oil. Pollution.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1 Material particulado.....	3
2.1.2 Danos à saúde causados pelo material particulado.....	5
2.1.3 Classificação da qualidade do ar segundo concentração de PM <sub>2,5</sub> .....	7
2.1.3 Esforços na redução da emissão de material particulado .....	10
2.2 Opacidade .....	11
2.3 Biodiesel de óleo residual de cozinha .....	12
2.4 Emissões de motores de ignição por compressão utilizando biodiesel .....	13
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
3.1 Materiais .....	15
3.1.1 Trator .....	15
3.1.2 Opacímetro .....	16
3.1.3 Combustíveis .....	17
3.2 Métodos .....	18
3.2.1 Determinação da Opacidade .....	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	19
4.1- Opacidade média na rotação de marcha lenta da bomba (800 rpm) para cada mistura de biocombustível: .....	19
4.2 - Opacidade média na rotação de corte da bomba (2200 rpm) para cada mistura de biocombustível: .....	20
4.3 – Médias do valor de opacidade das misturas e comparação percentual em relação ao combustível de testemunha.....	22
4.4 Teste de Tukey.....	22
5 CONCLUSÕES .....	23
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	24



## 1 INTRODUÇÃO

A natureza da situação envolvendo a substituição total ou parcial do diesel mineral pelo biodiesel deriva de um conjunto de fatores. Destacam-se entre eles: a forte redução de impactos ambientais atribuídos ao uso de biocombustíveis e o benefício socioeconômico envolvendo diversos personagens no setor agroindustrial.

O diesel é o combustível derivado do petróleo mais consumido no Brasil. Em 2019, segundo dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2019), foram vendidos pelas distribuidoras 57,3 bilhões de litros de diesel. Apesar de ser um dos maiores exploradores de petróleo do mundo, o Brasil é um grande importador de diesel, 13 bilhões de litros em 2019. Uma das razões para o alto volume de importação de óleo diesel é o baixo grau API do petróleo brasileiro, isso indica uma composição mais densa do óleo cru, tornando-o não ideal para o refino de diesel, em contraste com o óleo cru do oriente médio, que possui alto grau API (composição menos densa).

Em 1973, durante a crise do setor de petróleo, houve o surgimento de políticas favoráveis às fontes de energias renováveis, que é sustentada ainda hoje, devido a questões ambientais. Há um esforço crescente para diminuição progressiva das emissões de partículas e gases poluentes na atmosfera. Assim se sustenta a justificativa do uso das fontes energéticas renováveis, como o álcool, o biogás, o biodiesel, entre outros, por serem principalmente, menos poluentes, mas também por trazerem benefícios socioeconômicos e à balança comercial.

O Brasil ocupa o segundo lugar mundial em produção e consumo de biodiesel, atrás apenas dos EUA, no ano de 2020, com 7 bilhões de litros projetados como produção total (UBRABIO, 2020). O biodiesel é um biocombustível produzido a partir de óleos vegetais ou gordura animal. Seu espaço no mercado brasileiro tem se expandido, principalmente devido a medidas legislativas. É determinado por lei certa proporção mínima de biodiesel misturado ao diesel. Em 2020, essa proporção atingiu 12% (B12), em resolução aprovada pela ANP. Segue em andamento o cronograma do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), que determina 15% de biodiesel na mistura em 2023 (CNPE, 2018).

Entre as possíveis matérias primas para produção do biodiesel tem-se o óleo vegetal usado no processo de fritura dos alimentos, chamado neste trabalho de óleo residual de cozinha. É conhecido que existem esforços na conscientização da reciclagem desse resíduo,



pois além de ser uma matéria prima possível para fabricação de sabões, massas de vidraceiro e biodiesel, é também, um forte poluidor se descartado no meio ambiente. Além do fator ambiental envolvendo a correta destinação do óleo residual de cozinha, seu uso na produção de biodiesel tem benefícios econômicos e técnicos, como: valor de mercado atrativo da matéria prima e dispensa do processo de extração de óleo. (SILVA, 2011).

Os gases de escape dos motores a combustão têm atuação importante na redução da qualidade do ar das cidades e dos ambientes de trabalho. Ao se tratar de emissão de poluentes, um dos importantes constituintes da fração poluidora resultante da combustão do diesel e do biodiesel é o material particulado (MP), prejudiciais ao ambiente e à saúde humana. O MP é formado por minúsculas partículas sólidas e gotículas condensadas, sua composição consiste basicamente de carbono em forma de fuligem, resultado da queima incompleta do combustível.

Quando o MP é emitido em altas concentrações é possível perceber visualmente sua presença através da fumaça nos gases de escape. Logo, mesmo que de forma indireta, a opacidade dos gases de escape está ligada à quantidade de MP emitido e é um dos parâmetros de controle dos limites de emissão permitidos por lei.

O presente trabalho analisou a emissão de material particulado (MP) por um motor de ignição por compressão ao funcionar com diferentes proporções de biodiesel de óleo residual de cozinha misturadas ao diesel comercial. A parte experimental dessa pesquisa contou com a utilização de um trator Valmet 85 id, equipado com um motor MWM – D225 – 4TVA, com cilindrada total de 3778 cm<sup>3</sup> e taxa de compressão 18:1, potência nominal de 78 cv (58,2 kW) a 2300 rpm.

O objetivo principal foi a verificação e a comparação dos valores de opacidade dos gases de escapamento do motor ao operar com os seguintes combustíveis: o diesel comercial (B12), como testemunha, e, em outras proporções de mistura: B20, B50, B80, e, por fim, o biodiesel puro B100, nas rotações de 800 rpm e 2200 rpm.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Material particulado

Material particulado é o termo utilizado para definir minúsculas partículas sólidas e também gotículas, encontradas, tanto no ar ambiente, quanto nos gases emitidos pelas principais fontes poluidoras. O tamanho e a composição dessas partículas variam. As partículas maiores podem ser percebidas como uma poeira, outras, muito pequenas, são observadas apenas com ampliação de muitas vezes por um microscópio. O material particulado possui classificação quanto à faixa de tamanho de suas partículas, as chamadas  $PM_{10}$  compreendem as partículas entre  $2,5\ \mu\text{m}$  a  $10\ \mu\text{m}$  de diâmetro, enquanto as  $PM_{2,5}$  as partículas até  $2,5\ \mu\text{m}$  de diâmetro. (US EPA, 2018). A nomenclatura para material particulado no trabalho inclui tanto a sigla (MP – Material Particulado) quanto a sigla em inglês (PM – Particulate Matter). A Figura 1 apresenta as diferentes dimensões de partículas do material particulado comparado a um fio de cabelo humano e partículas de areia fina de praia.

Figura 1 – Distribuição de tamanhos de particulado.



Legenda: Tamanho comparativo do material particulado.  
Fonte: US EPA, 2018.

Os componentes principais que formam o material particulado são carbono negro (como a fuligem), hidrocarbonetos, sulfatos, nitratos, amônia, cloreto de sódio, poeira mineral e água. As partículas presentes nos gases de exaustão dos motores diesel têm diâmetro aerodinâmico médio na faixa de 0,01-0,25  $\mu\text{m}$ , representando grande perigo à saúde, pois são facilmente inaláveis e atingem a corrente sanguínea (MENEZES; CATALUÑA, 2008). São estabelecidas orientações dos níveis aceitáveis de material particulado no ar atmosférico baseados no potencial de danos à saúde e ao meio ambiente. Em países desenvolvidos e países em desenvolvimento, os níveis de material particulado geralmente são maiores, devido à alta atividade industrial, veículos automotores, geração de energia. Esse problema ocorre não só nas grandes cidades, mas também em áreas rurais. (WHO, 2018).

O material particulado pode ser carregado por correntes de ar através de longas distâncias. A depender de sua composição, pode causar diversos danos ao meio ambiente, como: acidificação de cursos d'água, afetar diversidade de ecossistemas, ocasionar o sequestro de nutrientes de solo, causar danos às plantações e florestas, contribuição à formação de chuva ácida, entre outros. Além de todos esses problemas, A Figura 2 mostra a diminuição da visibilidade ocasionada pelo material particulado fino ( $\text{PM}_{2,5}$ ) suspenso no ar, formando uma espécie de neblina. (US EPA, 2020)

Figura 2 – Visibilidade afetada por névoa de material particulado.



Fonte: Website US EPA.

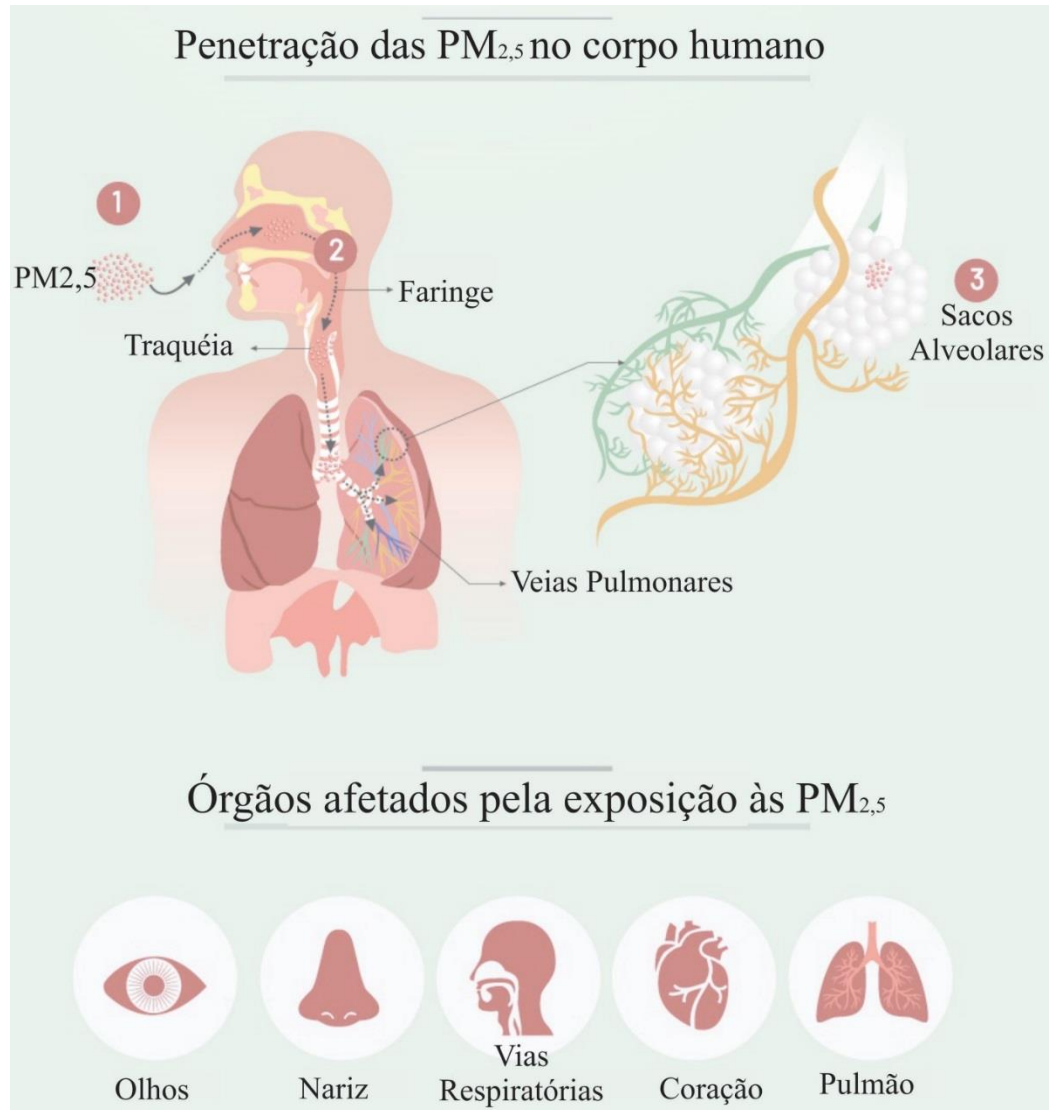
O MP pode provocar danos não só ao meio ambiente, mas também à saúde humana. O problema gerado pelo material particulado na saúde humana é amplo. A exposição ao material particulado, principalmente  $\text{PM}_{2,5}$ , parcela inalável, acarreta problemas fortes de saúde

pública, redução da qualidade de vida, diversas doenças e mortes precoces. (World Health Organization – WHO, 2018)

### **2.1.2 Danos à saúde causados pelo material particulado**

A principal fonte de emissão de material particulado é a queima de combustíveis fósseis. Segundo a OMS (Organização Mundial de Saúde) a poluição atmosférica foi responsável pela morte prematura de 4,2 milhões de pessoas pelo mundo no ano de 2016. (WHO, 2018). Segundo informações da US EPA (2020), A exposição às  $PM_{2,5}$  causam doenças respiratórias e cardiovasculares. Seu tamanho é igual ou menor que os alvéolos pulmonares (cavidades do pulmão onde ocorrem as trocas gasosas), podendo inclusive atingir a corrente sanguínea. A inalação desses poluentes microscópicos ao longo do tempo causa inflamação e danos ao revestimento pulmonar, enfraquecendo a capacidade do corpo de combater infecções. O MP emitido pelos motores diesel pertencem em sua totalidade à parcela  $PM_{2,5}$ . Além dos danos à saúde já citados, essa exposição é responsável, também, por maior incidência de câncer, doenças respiratórias e cardiovasculares. A Figura 3 demonstra o poder de penetração no corpo, as partes do corpo e órgãos afetados pelas  $PM_{2,5}$ .

Figura 3 – Penetração e efeitos das  $PM_{2,5}$  ao corpo humano.



Fonte: Website VN Express International (Adaptado)

Um estudo feito pela Universidade de Harvard, de abrangência nacional nos Estados Unidos, relacionou o aumento do índice de mortes e casos graves pela COVID-19 a regiões com maior concentração de material particulado fino ( $PM_{2,5}$ ). A coleta de dados foi ampla: ao longo de 17 anos foram obtidas amostras de material particulado em 3000 municípios. Junto a esses dados, o número de mortes por COVID-19 nos mesmos locais até o dia 4 de Abril de 2020, fornecidos por departamento específico de Corona vírus da Universidade Johns

Hopkins. Mesmo ajustando o modelo estatístico para diversos fatores que influenciam a saúde e a disseminação do vírus, como: tabagismo, níveis de pobreza e densidade populacional, a relação entre elevada mortalidade por COVID-19 e exposição a altos níveis de poluição a longo prazo permaneceram evidentes. Foram conduzidas 6 análises adicionais ajustando fatores que poderiam comprometer os resultados do trabalho, como o cuidado em excluir os municípios do estado de Nova York, devido a sua taxa de mortalidade pelo menos cinco vezes maior que a de qualquer outra região e também de municípios com menos de dez casos da doença confirmados. Em todas as análises a correlação se manteve. (FRIEDMAN, 2020)

### **2.1.3 Classificação da qualidade do ar segundo concentração de PM<sub>2,5</sub>**

No Brasil, o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR, pertencente ao CONAMA – Ministério do Meio Ambiente, tem como estratégia o estabelecimento de padrões nacionais de qualidade do ar. A definição de poluentes abrange qualquer matéria que possa ser nociva à saúde ou ao meio ambiente, inconveniente ao bem estar social e/ou danosas às atividades normais da comunidade. (MMA, 2018)

A concentração de MP<sub>2,5</sub> é quantificada através do cálculo da média da massa de partículas suspensas no ar, no volume de um metro cúbico, durante 24 horas ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Essa quantificação define um dos instrumentos de gestão da qualidade do ar, que busca preservar o meio ambiente e a saúde humana através da busca por atingir padrões de qualidade do ar definidos pela OMS. Tais políticas tem como objetivo melhorar gradualmente os parâmetros de qualidade do ar. (MMA, 2018)

A partir da data de publicação da Resolução N° 491, de 19 de novembro de 2018, do CONAMA, entrou em vigor a primeira etapa PI-1 dos Padrões de Qualidade do Ar. No mesmo documento estão descritas as etapas PI-2, PI-3 (intermediárias) e PF (final), compreendendo as subsequentes fases que levam em conta os Planos de Controle de Emissões Atmosféricas, buscando a migração de uma etapa para a outra, sendo que se tornam cada vez mais restritivos em termos da concentração de poluentes no ar, visando melhoria da qualidade (MMA, 2018). A Figura 4 detalha as quantidades de MP<sub>2,5</sub> definidas para cada etapa dos padrões de qualidade do ar definidos pelo CONAMA.

Figura 4 – Concentração de  $MP_{2,5}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) em diferentes etapas do PRONAR.

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Material Particulado – $MP_{2,5}$	24 horas	60	50	37	25
	Anual <sup>1</sup>	20	17	15	10
1 - Média aritmética anual					

Fonte: Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional do Meio Ambiente (MMA/CONAMA) – 2018.

Na Figura 5 estão descritos, respectivamente, os níveis de atenção, alerta e emergência para  $MP_{2,5}$  e suas concentrações.

Figura 5 – Níveis de concentração de  $MP_{2,5}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e sua classificação.

Nível	MP <sub>2,5</sub>
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (média de 24h)
Atenção	125
Alerta	210
Emergência	250

Fonte: MMA/CONAMA – 2018.

Na Figura 6 está o intervalo de concentração de  $MP_{2,5}$  no ar atmosférico considerado como de boa qualidade.

Figura 6 – Concentração de  $MP_{2,5}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) do ar de boa qualidade.

Qualidade	MP <sub>2,5</sub>
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	24h
N1 - Boa	0 – 25

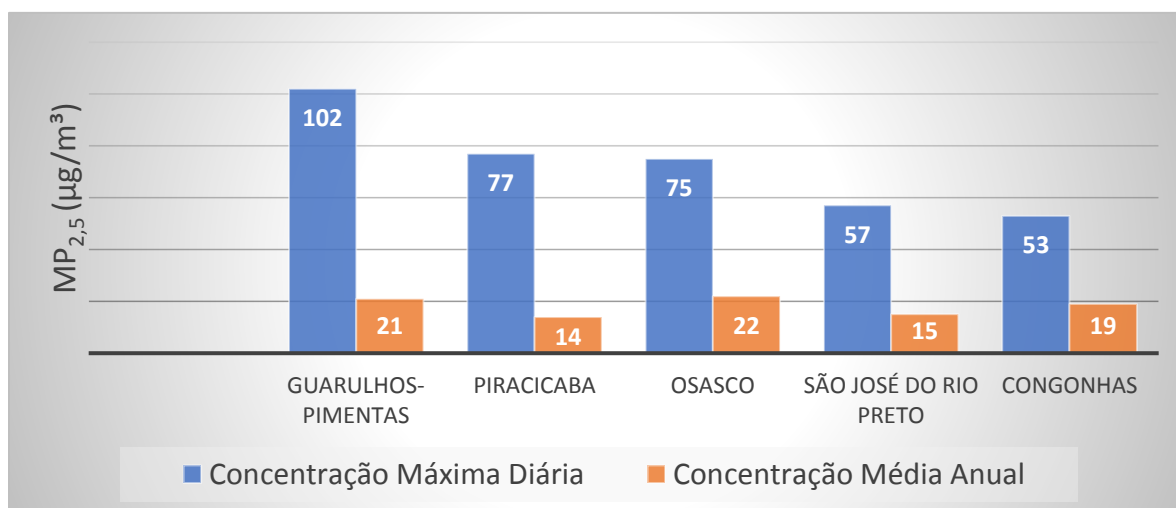
Fonte: MMA/CONAMA – 2018.

De maneira análoga à legislação brasileira, os outros países possuem parâmetros semelhantes para caracterização da qualidade do ar. Conforme definido pela Agência de Proteção Ambiental (EPA) dos Estados Unidos, o limite máximo de  $PM_{2,5}$  no ar, para ser

considerado de boa qualidade, é de  $12 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Acima de  $35,4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  o ar já passa a ser considerado como insalubre.

O estado brasileiro com maior representatividade de monitoramento da qualidade do ar é São Paulo. Na Região Metropolitana de São Paulo são mais de 60 pontos de monitoramento do ar coordenados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. Por ser a região com maior densidade demográfica e maior parque industrial do Brasil, a poluição atinge níveis mais altos nessa região. As concentrações de poluentes nessas regiões mostram o quanto ainda é necessário evoluir, adotar medidas redutoras de poluição, buscar veículos com menores níveis de emissões e fontes energéticas menos poluentes (SÃO PAULO, 2020). A Figura 7 mostra as concentrações máximas diárias de partículas inaláveis e as médias anuais registradas pela CETESB para algumas regiões do estado de São Paulo no ano de 2018.

Figura 7 – Concentrações máximas diárias e médias anuais registradas em São Paulo.



Fonte: CETESB, 2019.

Em casos extremos, como na capital indiana, New Delhi, com aproximadamente 19 milhões de habitantes, no ano de 2019 os níveis de material particulado fino suspenso no ar chegaram a  $900 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Considerada a capital mais poluída do mundo, sua condição é agravada devido a diversos fatores como: prática de queimada dos restos vegetais da agricultura, inversão térmica no inverno e bloqueio físico devido ao relevo. As condições extremas alcançadas por New Delhi ultrapassam o limite máximo na definição da EPA, que chega até  $500 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , classificado como perigoso, e entra em uma zona caótica. De acordo com o grupo de pesquisas independente Berkeley Earth, o dano causado apenas através da



inalação pela respiração normal do ar com concentrações entre 950 e 1000  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  de  $\text{MP}_{2,5}$  é equivalente a fumar 44 cigarros por dia (SCHMIDT, 2019).

A permanência das pessoas em casa, restrição da circulação de veículos e suspensão de aulas, são algumas das medidas emergenciais tomadas em situações como essa (Mackintosh, 2019). A Figura 4 retrata como a alta concentração de material particulado no ar forma uma neblina tóxica sobre a cidade em novembro de 2019, em contraste com um dia de qualidade do ar melhor em março de 2020.

Figura 8 – Porta da Índia/Nova Delhi em comparação entre dia de alta e baixa Concentração de  $\text{MP}_{2,5}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) no ar atmosférico.



Fonte: Website New York Times, 2020.

### 2.1.3 Esforços na redução da emissão de material particulado

Existe uma classificação de concentrações de material particulado presente na atmosfera feita pela OMS, assim como valores alvos, que devem ser atingidos à medida que diversas medidas redutoras de poluição são tomadas. Entre essas medidas impera o uso de matrizes energéticas mais limpas, como energia solar, eólica, combustíveis renováveis. Voltando-se para os tópicos do presente trabalho, existem medidas aplicáveis à agricultura e ao planejamento urbano, entre elas estão: o reprocessamento de resíduos e tecnologias de combustão com níveis controlados de emissão. (WHO, 2018)

A legislação nacional brasileira equivalente às medidas e esforços de conscientização da OMS quanto à emissão de poluentes é representada pelo PROCONVE (Programa de Controle de Poluição do Ar Por Veículos Automotores). Esse programa foi criado em 1986, pelo CONAMA, representando uma adaptação de programas internacionais adaptado às necessidades brasileiras. Sendo uma divisão do IBAMA, O PROCONVE estabelece diretrizes para emissão buscando o controle de qualidade do ar.

Desde a primeira versão do PROCONVE, os níveis de emissão permitidos foram alterados, reduzindo, de forma gradativa os limites de emissão. Essa legislação garante que os motores nacionais e importados funcionem dentro dos limites de emissões, sendo todos estes testados e comparados rigidamente aos níveis limites (IVECO, 2020).

A fase vigente do programa, referente às máquinas agrícolas e rodoviárias é o PROCONVE MAR-1. Para serem atingidos os níveis de emissão estabelecidos pela fase, é necessário modificações nos motores e utilização de diesel com teor de enxofre reduzido. Em 2019, a fase MAR-1 passou a abranger todas as máquinas agrícolas com potência superior a 19 kW (25 cv). A nova legislação define limites de emissões dos poluentes monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e material particulado (MP). A redução de MP da fase MAR-1 pode chegar a 85% se comparado a motores não certificados ou não regulamentados. (ANFAVEA, 2019).

## **2.2 Opacidade**

A opacidade é a capacidade da matéria de obstruir a transmissão de luz. Nos ensaios de opacidade dos gases de escape, ela indica a medida de quanto de um feixe luminoso foi interceptado pela coluna de gás. Em outras palavras, expressa o grau com que a fumaça bloqueia a passagem de luz. Através de um opacímetro esse bloqueio de luz é quantificado pela emissão e captação de feixes luminosos que atravessam os gases de escape. Quanto maior a quantidade de fumaça nos gases de escape, maior será o bloqueio da luz, conseqüentemente maior será o valor de opacidade. (US EPA, 2018)

O ensaio de opacidade é um método de baixo custo e alta disponibilidade que serve como um parâmetro de emissão relacionado à quantidade de material particulado emitido. Por essa razão, os limites de opacidade são usados em inspeções veiculares voltadas ao controle de emissões e a necessidade de manutenção. Existem correlações para estimar a massa de MP

emitido através de valores de opacidade. Os opacímetros são cada vez mais sensíveis e precisos para atenderem a demanda de motores novos com emissões de particulados muito reduzidas. (MAJEWSKI; JÄÄSKELÄINEN, 2013).

Os limites de opacidade para motores do ciclo diesel foram estabelecidos no Brasil pela Resolução CONAMA n°16/1995. A partir do dia 1° de janeiro de 1996 todos os veículos automotores de ciclo diesel, nacional ou importados contam com os limites máximos de opacidade apresentados em etiqueta afixada na coluna da porta dianteira direita, válidos para medições feitas em locais de altitude de até 350m. (ALFATEST,2013).

Os manuais do proprietário e de serviço devem constar as informações do limite máximo medido em locais com até 350m de altitude, o valor corrigido para altitudes superiores ou seu respectivo fator de correção, bem como velocidades angulares (rpm) de marcha lenta e de máxima livre do motor. (ALFATEST,2013).

Para os motores do ciclo diesel anteriores à vigência da Resolução CONAMA n°16/1995, ano de fabricação 1995 e anteriores, os níveis máximos limites de opacidade estão descritos na Figura 9, abaixo. Essa legislação abrange o motor utilizado no experimento.

Figura 9 - Resolução CONAMA n°16/1995, que estabelece limites de opacidade para os gases de emissão dos motores diesel.

<b>Altitude</b>	<b>Aspirado e Turbo alimentado c/ LDA*</b>	<b>Turbo alimentado</b>
Até 350 metros	1,7 m <sup>-1</sup>	2,1 m <sup>-1</sup>
Acima de 350 metros	2,5 m <sup>-1</sup>	2,8 m <sup>-1</sup>

\* LDA – Dispositivo de controle da bomba injetora de combustível para ajuste de injeção, conforme pressão do turboalimentador.

Fonte: CONAMA, 1995

Em termos mais atuais de fiscalização, a Resolução n° 490, de 16 de novembro de 2018, estabelece como limite máximo de opacidade o valor de 0,4m<sup>-1</sup> para efeitos de inspeção e fiscalização de veículos pesados equipados com motor diesel da Fase PROCONVE P8.

### **2.3 Biodiesel de óleo residual de cozinha**

O processamento de resíduos agroindustriais é uma prática capaz de reduzir impactos ambientais provenientes dessas atividades de maneira significativa, aumentando a sustentabilidade desses processos. Possibilita, também, maior amplitude econômica das

cadeias produtivas envolvidas. A destinação correta do óleo residual de cozinha é um tema importante do ponto de vista ambiental. Seu descarte incorreto gera problemas relacionados ao tratamento de água e esgoto, bem como degradação ambiental do solo e de recursos hídricos. (SILVA et. al., 2019)

A produção de biodiesel por transesterificação a partir do óleo residual de cozinha é uma alternativa possível como forma de destinação adequada. Como resultado é obtido um combustível proveniente de fontes renováveis, que agrega sustentabilidade às cadeias produtivas relacionadas, tanto devido a reciclagem do óleo, quanto da menor toxicidade e biodegradabilidade desse produto em comparação ao diesel mineral. (SILVA et. al., 2019)

Os óleos vegetais, ao contrário dos óleos combustíveis derivados do petróleo, são mais susceptíveis a reações de oxidação. O óleo residual de cozinha, por passar por processo térmico intenso, está sujeito a sofrer decomposição térmica, tendo suas propriedades físico químicas alteradas. Os óleos residuais trazem consigo um número elevado de impurezas provenientes do processo de cocção dos alimentos, demandando a pré purificação e secagem antes de passar pela reação de transesterificação. Apesar de ser mais difícil atender as especificações da ANP com o biodiesel proveniente de óleo residual de cozinha, é comum que este resulte em um bom produto, com características físico químicas semelhante às de biodiesel provenientes de óleos novos. Suas propriedades podem ser melhoradas a partir da utilização de misturas com biodiesel provenientes de matérias primas melhores. (SILVA et. al., 2019)

#### **2.4 Emissões de motores de ignição por compressão utilizando biodiesel**

Uma das vantagens animadoras da utilização do biodiesel é o fato de os gases de escape provenientes da queima de um mix de combustíveis com alto teor de biodiesel serem menos poluentes, de maneira geral.

Segundo estudos reunidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (2015), em testes realizados no programa de validação do B5, as emissões do biodiesel de soja apresentaram reduções de 11%, 23% e 39% de material particulado, utilizando, respectivamente B20, B50 e B100. Houve redução também nos níveis de emissão de Hidrocarbonetos (HC). Já em relação as emissões de NO<sub>x</sub>, os resultados apresentaram maior variação, predominando o aumento da emissão desse poluente, com maiores proporções

de biodiesel na mistura. Estudos mostram que a emissão de  $\text{NO}_x$  pode aumentar ou diminuir com o uso do biodiesel, pois é fortemente relacionada às condições de operação do motor.

Valtra (2009), citado por MAPA (2015), constatou redução dos valores de opacidade em 16,39% e 49,58%, em ensaios utilizando mistura (B50) e biodiesel puro (B100), respectivamente. Segundo a ANP (2014), ao utilizar dados de ensaios de emissões dos motores com uso de B100, realizados pela URBS – Urbanização de Curitiba S/A, foi possível observar redução de 63,7% na emissão de materiais particulados quando comparadas às emissões com o uso do diesel de petróleo S10.

De acordo com Mittelbach e Tritthart (1988), a emissão de poluentes provenientes da queima de biodiesel de óleos residuais foi semelhante a emissão dos ésteres (biodiesel) provenientes de outras fontes, como óleos novos de soja, algodão, macaúba, etc. Comparando ao diesel da época desse experimento, as reduções foram de, em média, 50% para hidrocarbonetos e material particulado.

Segundo Aydin e Bayindir (2010), citado por Barbosa (2016), a viscosidade e densidade do biodiesel, quando usado puro B100, ou em uma mistura mais rica, B75, afetam na quantidade de fumaça emitida, aumentando-a. Devido a maior viscosidade e massa específica do biodiesel a atomização do combustível durante a injeção fica prejudicada, acarretando em disfuncionalidades da combustão, como queima incompleta, e consequentemente emitindo mais fumaça na exaustão. Ainda segundo os mesmos autores, os motores diesel estão aptos a receber misturas de biodiesel de óleo de algodão de menores proporções sem precisar passar por alteração alguma.

Barbosa (2016) observou redução da opacidade dos gases de escape significativa trabalhando com biodiesel de óleo de macaúba. Ao testar B7, B7+20, B7+50 e B7+80 a opacidade foi decrescente a medida que se aumentou a proporção de biodiesel na mistura. Ao testar o B100 obteve opacidade 30% menor que a observada utilizando o B7. Os níveis menores de opacidade foram observados pelo uso do B7+50 e B7+80, 40% redução em relação ao B7.

Citado por Barbosa (2016), Monhebbi et. al. (2012), ao testar um motor da marca Motorsazan MT4.244, de 3,99 litros, turbinado, 4 cilindros e injeção direta, utilizando diesel e biodiesel proveniente de óleo residual de cozinha obteve emissão de material particulado em torno de 70% menor com o B100 em relação ao diesel.

O estudo de Abed et. al. (2018) realizado com motor diesel de um único cilindro, com potência de 5,75 kW a 1500rpm, operando com Diesel e misturas de biodiesel de óleo residual de cozinha (10%, 20% e 30%) teve como resultado variações mínimas de opacidade entre os combustíveis ao operar com o motor sem carga. À medida que se aumentou a carga do motor, os combustíveis com maiores concentrações de biodiesel começaram a apresentar redução nos valores de opacidade. Ao operar com carga nominal os gases de escapamento do combustível B30 tiveram opacidade 14% menor em comparação com a utilização do diesel.

Jaharudin et. al. (2014) relata que diversos autores comprovam as menores emissões de material particulado associado ao biodiesel devido a presença de oxigênio em sua molécula, fator que contribui para uma estequiometria mais elevada na reação de combustão. Também explica a proporcionalidade de aumento da opacidade com o aumento das rotações do motor pelo fator do menor tempo de combustão ocasionar uma queima incompleta do combustível, aumentando a emissão de hidrocarbonetos e material particulado.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

A pesquisa foi realizada na Universidade Federal de Lavras (UFLA), no Centro de Tecnologia em Máquinas Agrícolas – CTMAG, do Departamento de Engenharia. A coleta de dados experimentais foi feita no Núcleo de Estudos em Plantas Oleaginosas, Óleos Vegetais, Gorduras e Biocombustíveis, compreendido nas coordenadas 21°13'26" Sul e 44°58'14" Oeste, com altitude média de 900 metros, em junho de 2020. O experimento foi realizado com um trator marca Valmet id 85, equipado com motor MWM – D225 – 4TVA, os dados de opacidade foram coletados em carga livre e nas rotações de 800 e 2200 rpm com o auxílio de um analisador de opacidade, marca ALFATEST.

#### **3.1 Materiais**

##### **3.1.1 Trator**

Para a coleta dos dados de opacidade, foi utilizado um trator Valmet 85 id, equipado com um motor de ciclo diesel MWM – D225 – 4TVA, com cilindrada total de 3778cm<sup>3</sup> e taxa

de compressão 18:1, potência nominal de 78 cv (58,2 kW) a 2300 rpm, refrigerado a água, com camisas úmidas removíveis e 4 cilindros em linha.

O sistema de alimentação de combustível do trator foi adaptado de forma que o abastecimento fosse realizado diretamente em uma proveta de 2000 mL, instalada anteriormente a bomba alimentadora, facilitando o fluxo, drenagem e controle do combustível utilizado.

### 3.1.2 Opacímetro

Para medir o nível de emissão de material particulado foi utilizado um opacímetro Discovery Opa 495 Alfatest, equipamento certificado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO e que atende a norma NBR 12897 (ABNT, 1993) – Emprego de Opacímetro para Medição do Teor de Fuligem de Motor Diesel.

O opacímetro é um equipamento utilizado para medir o nível de fumaça dos gases de escapamento. Nos motores diesel, a fumaça é composta principalmente de material particulado suspenso. Através de um emissor e um receptor de luz o opacímetro mede o quanto essa luz é absorvida, refratada ou refletida pelos gases de exaustão.

Existem opacímetros de fluxo total e fluxo parcial. Nos equipamentos de fluxo parcial, os gases de exaustão são coletados por uma sonda no escapamento do veículo, ou do motor de teste, em caso de teste de bancada. Localizada no interior do equipamento, a câmara de medição é responsável pela leitura da informação de absorção de luz. Nesta parte do equipamento é emitido um feixe de luz que é interceptado pela fumaça que passa entre o emissor e o receptor. O nível de luz recebido pelo receptor irá, então, retornar um valor de opacidade, diretamente relacionado ao nível de material particulado emitido. (TECNOMOTOR ELETRÔNICA DO BRASIL S/A, 2016)

As unidades de opacidade são dadas em porcentagem (%) ou pelo coeficiente (K) em  $m^{-1}$ . A imagem do opacímetro utilizado no experimento está na Figura 10, a seguir.

Figura 10 – Opacímetro Discovery Opa 495 Alfatest



Fonte: Barbosa, 2016.

### 3.1.3 Combustíveis

O combustível utilizado como testemunha foi o diesel atualmente comercializado no Brasil, Diesel S10 B12, contém 12% de biodiesel de matéria prima não especificada misturado ao diesel mineral. Os demais combustíveis utilizados no teste foram o B20, B50, B80 e B100. Essas misturas foram obtidas de maneira simplificada. Para obtenção do B20 misturou-se ao diesel (testemunha), 20% em base de volume do B100 de óleo residual de cozinha, ou seja, 80% do diesel mineral com 20% de biodiesel B100. Para obtenção do B50, a proporção de mistura foi meio a meio em base de volume, 50% de diesel comercial mais 50% de biodiesel B100 e assim por diante. Ao realizar o teste com o combustível B100, o motor foi alimentado exclusivamente com o biodiesel proveniente de óleo residual de cozinha.



## 3.2 Métodos

### 3.2.1 Determinação da Opacidade

O ensaio de opacidade foi feito de acordo com o método de aceleração livre, no qual o motor é submetido ao máximo débito da bomba injetora, sem carga no motor. Os dados de opacidade também foram coletados para rotação de marcha lenta.

De acordo com a NBR 13037 / 1993 - Ensaio de aceleração livre - o motor é acelerado até o fim de forma rápida, até que a rotação máxima se estabilize, momento de corte da bomba. Nesse estado de operação a opacidade é medida e então o aparelho mostra a mensagem para desacelerar. (TECNOMOTOR ELETRÔNICA DO BRASIL S/A, 2016).

Ao início do experimento, o opacímetro foi conectado ao computador e foi executado seu software. O opacímetro fez o auto zero, que consiste na calibração com a sonda exposta ao ar ambiente, fora do escapamento do trator. Aguardou-se a temperatura de óleo do cárter do motor atingir ficar constante, indicando que o motor estava devidamente aquecido.

A coleta dos dados foi feita com o trator parado, sem carga adicional aplicada ao motor, em marcha lenta, 800 rpm. Posteriormente foi feita a coleta de dados na rotação de 2200 rpm, com o motor do trator no máximo débito da bomba injetora sem carga. Para obter tais medidas, a sonda do opacímetro foi introduzida no sistema de escape e obtida a leitura de opacidade para 800 rpm, em seguida o motor foi acelerado de forma rápida e contínua, mantendo-se a posição de aceleração máxima até que a rotação se estabilizasse para obtenção da leitura de opacidade a 2200 rpm. A rotação do motor pode ser acompanhada através do display do opacímetro, na presença de sensor. Repetiu-se esse procedimento por três vezes para cada combustível utilizado.

Os sensores instalados no trator foram de temperatura do óleo do cárter e a sonda de leitura de opacidade. Aguardou-se o momento em que o trator atingiu temperatura constante indicada pelo sensor de temperatura de óleo do cárter para iniciar as leituras de opacidade. As leituras foram realizadas em 800 rpm, marcha lenta, e 2200 rpm, em máxima rotação do

motor, o trator, os aparatos experimentais e o display do opacímetro podem ser vistos na Figura 11.

Figura 11 – Trator, aparatos experimentais e display do opacímetro.



Fonte: Do autor (2020).

O delineamento estatístico utilizado foi o 5x2 com 3 repetições, os tratamentos foram concentração de biodiesel e rotação do motor. As concentrações de biodiesel foram de B0 (testemunha), B20, B50, B80 e B100, lembrando que o diesel comercial (testemunha), já apresenta 12% de biodiesel em sua formulação, assim a mistura foi assumida como diesel comercial 0%, conseqüentemente as demais concentrações seguiram esse critério. Foram utilizados dois tratamentos para rotação do motor, sendo baixa rotação e máxima (800 e 2200 rpm respectivamente). Para as médias de opacidade foi utilizado o teste de Tukey, a 5% de significância.

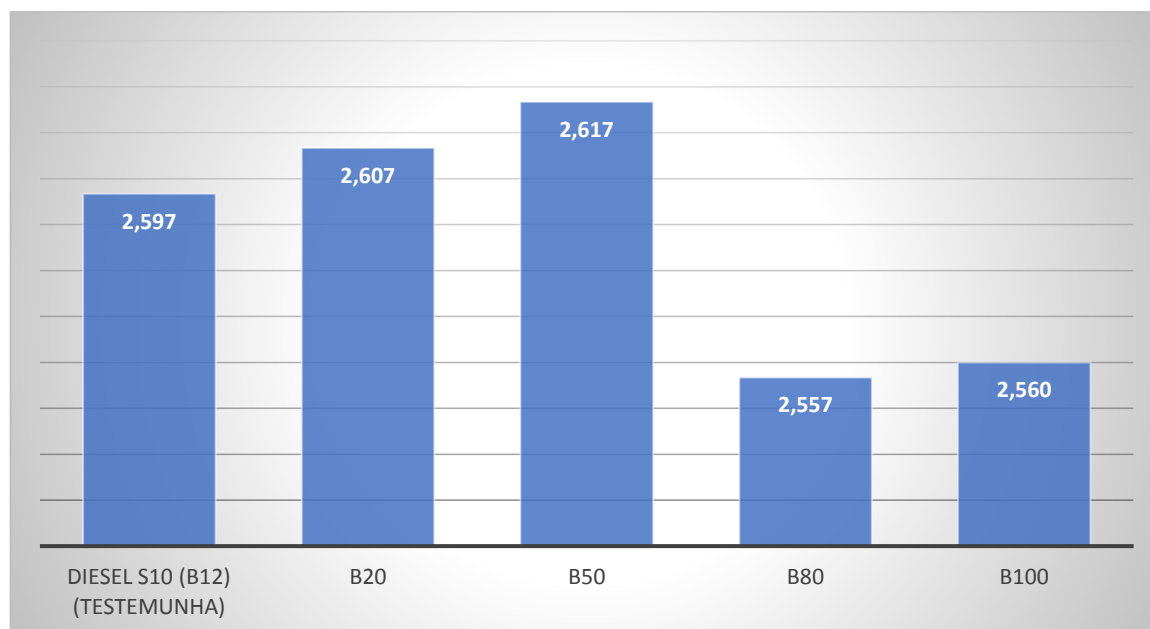
#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os resultados das opacidades nos tratamentos de rotação e misturas de biocombustíveis são demonstrados a seguir:

##### 4.1- Opacidade média na rotação de marcha lenta da bomba (800 rpm) para cada mistura de biocombustível:

As médias calculadas para as três repetições de coleta do valor de opacidade em marcha lenta (800rpm), para os diferentes combustíveis testados, estão representadas na Figura 12.

Figura 12 - Opacidade média ( $m^{-1}$ ) 800 rpm.



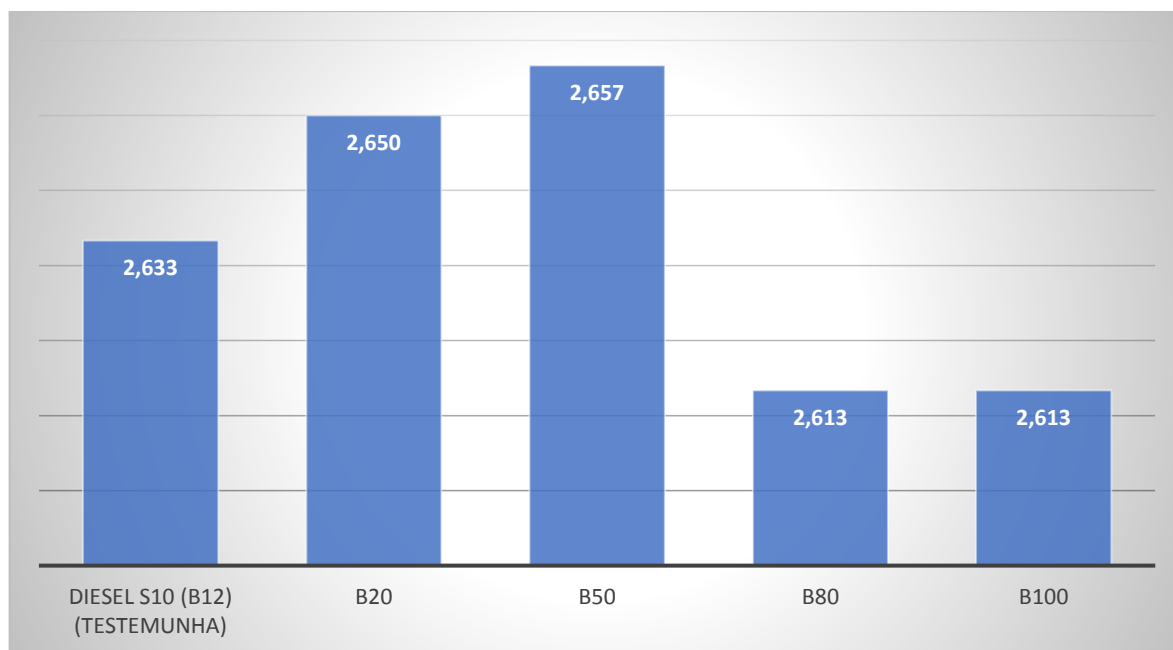
Fonte: Do autor (2020).

A média dos valores de opacidade apresentaram uma variação pequena entre si. O menor valor de opacidade para baixa rotação do motor foi com a utilização do B80, obtendo-se uma redução de 1,54% em relação a utilização do Diesel (testemunha). O maior valor de opacidade foi atribuído ao uso do B50, 0,77% maior em relação ao Diesel.

O estudo de Abed et. al. (2018) realizado com motor diesel de um único cilindro, com potência de 5,75 kW a 1500rpm, operando com Diesel e misturas de biodiesel de óleo residual de cozinha (10%, 20% e 30%) corroboram com os dados encontrados no presente experimento, pois as variações de opacidade sem aplicação de carga no motor foram mínimas, na casa de igual a menor que um ponto percentual. Quando foi aplicado ao motor uma carga próxima a nominal a diferenciação de opacidade para cada combustível utilizado aumentou, chegando a aproximadamente 14% de redução de opacidade ao comparar B30 com o Diesel.

#### **4.2 - Opacidade média na rotação de corte da bomba (2200 rpm) para cada mistura de biocombustível:**

As médias calculadas para as três repetições de coleta do valor de opacidade em rotação de corte da bomba, para os diferentes combustíveis testados, estão representadas na Figura 13, a seguir.

Figura 13 - Opacidade Média ( $m^{-1}$ ) 2200 rpm

Fonte: Do autor (2020).

Novamente os menores valores de opacidade observados são atribuídos ao B80 e ao B100, enquanto os maiores são atribuídos ao B50 e B20.

Na rotação de corte da bomba injetora os valores de opacidade são maiores que na rotação de marcha lenta. Esse fato é explicado pelo menor tempo de combustão que causa uma queda na queima do material particulado. (JAHARUDIN et. al., 2014)

Segundo o estudo de Lapuerta et. al. (2007), utilizando diesel puro, e misturas com biodiesel de óleo residual de cozinha em 30% e 70% foram observadas acentuadas reduções da emissão de material particulado com o aumento da concentração de biodiesel. Tal estudo refuta os valores encontrados no presente experimento, no qual não houve uma linearidade de redução da opacidade com o aumento da concentração de biodiesel na mistura e também não se observou reduções acentuadas de opacidade. Ressalta-se que o experimento de Lapuerta et. al. (2007) foi realizado com carga constante aplicada ao motor enquanto no presente experimento utilizou-se o motor livre de carga.

De acordo com Jaharudin et. al. (2014), vários autores conseguiram comprovar as menores emissões de material particulado pela combustão do biodiesel devido a sua característica de maior teor de oxigênio. Uma queima mais completa do combustível reduz o nível de hidrocarbonetos não queimados, que se condensam e aderem à superfície do material particulado. Logo, o teor maior de oxigênio no biodiesel promove uma combustão mais completa, promovendo a queima da fuligem e reduzindo a emissão de MP.

### 4.3 – Médias do valor de opacidade das misturas e comparação percentual em relação ao combustível de testemunha.

Na Figura 14 é observado os percentuais de aumento de opacidade (valores positivos) e diminuição da opacidade (valores negativos) de todos os combustíveis testados em comparação à testemunha.

Figura 14 – Aumento e diminuição percentual das médias de opacidade observadas para os diferentes tratamentos.

<b>Combustíveis</b>	<b>Opacidade Média (m<sup>-1</sup>) 2200 rpm</b>	<b>%</b>
Diesel S10 (B12) (Testemunha)	2,633	-
B20	2,650	0,63%
B50	2,657	0,89%
B80	2,613	-0,76%
B100	2,613	-0,76%
<b>Combustíveis</b>	<b>Opacidade Média (m<sup>-1</sup>) 800 rpm</b>	<b>%</b>
Diesel S10 (B12) (Testemunha)	2,597	-
B20	2,607	0,39%
B50	2,617	0,77%
B80	2,557	-1,54%
B100	2,560	-1,41%
<b>Combustíveis</b>	<b>Opacidade Média (m<sup>-1</sup>) 2200 e 800 rpm</b>	<b>%</b>
Diesel S10 (B12) (Testemunha)	2,615	-
B20	2,628	0,51%
B50	2,637	0,83%
B80	2,585	-1,15%
B100	2,587	-1,08%

Fonte: Do autor (2020).

Por meio da tabela 5 observa-se a menor opacidade atribuída ao uso de B80 e B100. Um fator provável para essa redução de opacidade pode ser atribuído ao maior teor de oxigênio na molécula do biodiesel, favorecendo uma estequiometria de combustão mais completa.

### 4.4 Teste de Tukey

Foi realizado teste de Tukey para os diferentes tratamentos (misturas de combustíveis) considerando os valores de opacidade medidos a 800 rpm e 2200 rpm. O resultado do teste de

Tukey mostrou que há diferença significativa nos valores de opacidade observados em cada tratamento. Na Figura 15 pode-se observar o resultado do Teste de Tukey.

Figura 15 – Teste de Tukey: combustíveis utilizados.

<b>Tratamentos</b>	<b>Médias de Opacidade (m<sup>-1</sup>)</b>
B80	2,585 <b>a</b>
B100	2,587 <b>a</b>
Diesel	2,615 <b>b</b>
B20	2,628 <b>bc</b>
B50	2,637 <b>c</b>

Fonte: Do autor (2020).

Pelo teste conclui-se que o uso do combustível B50 teve o pior desempenho, gerando um maior valor de opacidade dos gases de exaustão. Os combustíveis B80 e B100 não diferiram entre si (significância de 5%) e obtiveram o melhor desempenho, com menor valor de opacidade dos gases de exaustão.

## 5 CONCLUSÕES

Tanto nos dados coletados com baixa rotação (800rpm), quanto na rotação de corte da bomba (2200rpm) a ordem crescente de opacidade foi atribuída aos gases de escape dos seguintes combustíveis: B80, B100, Diesel, B20, B50. A variação de opacidade entre os combustíveis foi baixa. A maior variação obtida foi a redução da opacidade dos gases de escape do combustível B80 em comparação com o diesel testemunha a 2200 rpm, em 1,54%.

Os valores de opacidade foram menores com a operação do motor em 800rpm em comparação com 2200 rpm, com o uso de todos os combustíveis.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIODIESEL. Planilha: **Importações & exportações (metros cúbicos)**. [S. l.], 2019. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/dados-estatisticos>>. Acesso em: 25 mar. 2020.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIODIESEL. Planilha: **Vendas, pelas distribuidoras, dos derivados combustíveis de petróleo (metros cúbicos)**. [S. l.], 2019. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/dados-estatisticos>>. Acesso em: 25 mar. 2020.

CNPE – CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA. Resolução CNPE n° 16, de 29 de outubro de 2018. Dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional. Conselho Nacional de Política Energética. Brasília: **Diário Oficial da União**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 08 nov. 2018. Disponível em: <[www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br)>. Acesso em 25 mar. 2020.

SILVA, T. A. R. da. **Biodiesel de Óleo Residual**: produção através da transesterificação por metanólise e etanólise básica, caracterização físico-química e otimização das condições reacionais. 2011. p. 23. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

US EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Particulate Matter Emissions**. 2018. Disponível em: <<https://www.epa.gov/roe/>>. Acesso em: 30 mar. 2020.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Ambient (outdoor) air pollution**. 2018. Disponível em: <https://www.who.int/>. Acesso em: 31 mar. 2020.

SILVA, B.B.; MARINHO, A.C.M.; NEVES, J.B.; NETO, P. C. **PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA: VIABILIDADE DE ROTAS**. Uberlândia/MG: Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, jul. 2019.

VALTRA. **Avaliação do motor AGCO SISU POWER após testes de durabilidade com biodiesel em tratores Valtra BH180**. Relatório Técnico n° RT 001/09. 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Relatório Técnico nº 02/2014/SBQ/RJ**. Apresentação dos resultados dos Testes de uso experimental e específico de biodiesel e suas misturas com óleo diesel em teores diversos do autorizado em legislação. Rio de Janeiro. 2014.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Usos de biodiesel no Brasil e no mundo**. Gabinete da Ministra. – Brasília: Mapa/ACE, 2015. 38 p.

IVECO. **Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores**. Disponível em: <<https://www.iveco.com/brasil/institucional/pages/proconve.aspx>>. Acesso em: 07 abr. 2020.

ANFAVEA - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Guia MAR-1**. São Paulo: Motorpress Brasil Editora, [2019]. 7 p. Disponível em: <[http://www.anfavea.com.br/docs/cartilha\\_mar-1.pdf](http://www.anfavea.com.br/docs/cartilha_mar-1.pdf)>. Acesso em: 07 abr. 2020.

TECNOMOTOR ELETRÔNICA DO BRASIL S/A. **Manual de Instruções Opacímetro TM133**: [S.l.]: Tecnomotor Eletrônica do Brasil S/a, 2016.

MITTELBAACH, M.; TRITTHART, P.; J. Am. **Oil Chem. Soc.** 1988, 65, 1185

BARBOSA, Ronald Leite. **Análise de gases de combustão de um motor de ignição por compressão utilizando biodiesel de óleo de macaúba**. 2016. 139 p. Tese (Doutorado) - Curso de Mecanização Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

AYDIN, H.; BAYINDIR, H. **Performance and emission analysis of cottonseed oil methyl ester in a diesel engine**. Renewable Energy, Oxford, v. 35, p. 588- 592, 2010.

UBRABIO. **Biodiesel: aumento da mistura para 12% começa em 1 de março; mais economia para o Brasil**. 2020. Disponível em: <<https://ubrablo.com.br/2020/02/21/b12-mais-biodiesel-e-mais-brasil/>>. Acesso em: 06 maio 2020.

FRIEDMAN, Lisa. **New Research Links Air Pollution to Higher Coronavirus Death Rates**. 2020. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/2020/04/07/climate/air-pollution-coronavirus-covid.html>>. Acesso em: 08 maio 2020.



UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). **Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM)**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>>. Acesso em: 12 maio 2020.

MACKINTOSH, Eliza. **The perfect storm fueling New Delhi's deadly pollution**. 2019. Disponível em: <<https://edition.cnn.com/2019/11/04/india/delhi-smog-pollution-explainer-intl/index.html>>. Acesso em: 12 maio 2020.

MENEZES, Eliana Weber de; CATALUÑA, Renato. **Amostragem do material particulado e fração orgânica volátil das emissões em motor ciclo diesel sem a utilização de túnel de diluição**. Química Nova, [s.l.], v. 31, n. 8, p. 2027-2030, 2008. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000800021>>. Acesso em: 14 maio 2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018**. Resolução Nº 491, de 19 de Novembro de 2018: Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. 223. ed. Brasil, 21 nov. 2018. Seção 1, p. 155-156. Disponível em: <[http://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895](http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895)>. Acesso em: 18 maio 2020.

MAJEWSKI, W. Addy; JÄÄSKELÄINEN, Hannu. **Smoke Opacity**. 2013. Disponível em: [https://dieselnet.com/tech/measure\\_opacity.php#pmmass](https://dieselnet.com/tech/measure_opacity.php#pmmass). Acesso em: 02 jun. 2020.

ALFATEST. **OPA 495: Analisador de Opacidade: Manual do Usuário**. 2013. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/5643161-Analisador-de-opacidade-manual-do-usuario.html>>. Acesso em: 02/06/2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE/CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – MMA/CONAMA. **Resolução Nº 490, de 16 de Novembro de 2018**. 223. ed. Brasil, 21 nov. 2018. Seção 1, p. 153-178. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=21/11/2018&jornal=515&pagina=153>>. Acesso em: 02 jun. 2020.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIODIESEL. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 17 Jul. 2020.

ABED, K.a.; MORSI, A.k. El; SAYED, M. M.; SHABIB, A. A. El; GAD, M.s. **Effect of waste cooking-oil biodiesel on performance and exhaust emissions of a diesel engine.** Egyptian Journal Of Petroleum. Egypt, p. 975-989. dez. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.02.008>>. Acesso em: 17 jul. 2020.

LAPUERTA, Magin; RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, José; AGUDELO, John R **Diesel particulate emissions from used cooking oil biodiesel.** Bioresource Technology. Ciudad Real - Spain, p. 731-740. 27 mar. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.033>. Acesso em: 17 jul. 2020.

JAHARUDIN, Nur Fauziah; RAMLAN, Nur Atiqah; HAMZAH, Mohd Herzwan; ABDULAH, Abduil Adam; MAMAT, Rizalman. **Study on Particulate Matter of Diesel Engine Using Waste Cooking Oil.** Applied Mechanics And Materials. Switzerland, p. 420-424. jul. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.773-774.420>>. Acesso em: 17 jul. 2020.

SÃO PAULO. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Publicações / Relatórios Qualidade do Ar.** 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/>. Acesso em: 07 ago. 2020.