

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Mauro Lucio Martins

**AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE ÓLEO LUBRIFICANTE EM UM MOTOR DO
CICLO DIESEL OPERANDO COM BIODIESEL**

Belo Horizonte

2026

Mauro Lucio Martins

**AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE ÓLEO LUBRIFICANTE EM UM MOTOR DO
CICLO DIESEL OPERANDO COM BIODIESEL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. D.Sc Sérgio de Moraes Hanriot

Belo Horizonte

2026

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

M386a Martins, Mauro Lucio
Avaliação da degradação de óleo lubrificante em um motor do ciclo diesel operando com biodiesel / Mauro Lucio Martins. Belo Horizonte, 2026.
144 f. : il.

Orientador: Sérgio de Morais Hanriot
Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

1. Biodiesel. 2. Óleos lubrificantes. 3. Lubrificação e lubrificantes. 4. Combustíveis. 5. Motor diesel. 6. Viscosidade. I. Hanriot, Sérgio de Morais. II. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. III. Título.

SIB PUC MINAS

CDU: 621.436

Ficha catalográfica elaborada por Gabriela Fernandes dos Santos Dias - CRB 6/4473

Mauro Lucio Martins

**AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE ÓLEO LUBRIFICANTE EM UM MOTOR DO
CICLO DIESEL OPERANDO COM BIODIESEL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Prof. Sérgio de Moraes Hanriot, D.Sc. - (Orientador) - PUC Minas

Prof. Gilmar Cordeiro da Silva, D.Sc - (Coorientador) - PUC Minas

Prof. Pedro Paiva Brito, D.Sc. - (Examinador interno) - PUC Minas

Prof. Anderson Junior dos Santos, D.Sc. - (Examinador externo) - CEFET – MG

Belo Horizonte, 08 de abril de 2026

Dedico este trabalho aos meus pais, pilares fundamentais da minha formação pessoal e humana; à minha esposa e aos meus filhos, pelo constante apoio, incentivo e compreensão ao longo desta trajetória. Dedico-o, igualmente, aos meus amigos e professores, pela dedicação, paciência e valiosas contribuições para minha formação científica e para a construção do conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por todo ensinamento, compreensão, amor, carinho e orações.

À minha esposa e filhos pelo apoio, orações e compreensão das horas de dedicação aos estudos.

Aos professores Sérgio Hanriot e Gilmar Cordeiro que tiveram a paciência e sabedoria de me orientar e passar um pouco de seu conhecimento;

Aos meus amigos mestres e doutores, Wagner Roberto, Vinícius Moreira e Debora Borges, Airton pela parceria e por todo apoio prestado;

A doutora Elizângela de Souza P. Silva, pela amizade, parceria e grande ajuda para realização deste trabalho;

Aos meus amigos e parceiros da Petronas José Tyndall, João Sant'anna pela parceria e por todo apoio prestado;

Aos meus amigos e parceiros da Tajax na pessoa de Tarcísio Almeida e Isabela Almeida pela parceria e por todo apoio prestado;

À Valéria Gomes, por toda amizade dedicação e auxílio prestado;

Aos amigos do programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica;

À PUC Minas e ao PPGEM pela disponibilização dos laboratórios e serviços da Universidade;

A todos que contribuíram de alguma forma para este trabalho.

“Só é útil o conhecimento que nos torna melhores”

(Sócrates)

RESUMO

Este trabalho avaliou experimentalmente a degradação do óleo lubrificante Urania 3000 SE em um motor MWM D229/4 acoplado a um grupo motor-gerador, operando sob potência constante de 27,5 kW e rotação de 1800 ± 20 rpm. A pesquisa foi desenvolvida em duas etapas: na primeira, investigou-se o desempenho do lubrificante com o uso de diferentes combustíveis (diesel S10, biodiesel e misturas contendo etanol); na segunda, a análise concentrou-se na operação com biodiesel de soja (B100). O estudo foi motivado pelo crescente uso de biocombustíveis e pela necessidade de compreender seus efeitos sobre o óleo lubrificante e o desempenho de motores de ignição por compressão, com o objetivo de identificar alternativas que reduzam os efeitos de degradação e ampliem a confiabilidade operacional. Os resultados evidenciaram a necessidade de aprimoramento da formulação do lubrificante, especialmente no que se refere ao pacote de aditivos, a fim de mitigar efeitos como perda de viscosidade, aumento da oxidação, elevação da acidez, redução do Número Base Total (TBN) e incremento de partículas metálicas. Na primeira etapa, observaram-se alterações nas propriedades do óleo, com redução da viscosidade, atingindo $45,37 \text{ mm}^2/\text{s}$ a $40 \text{ }^\circ\text{C}$ e $3,57 \text{ mm}^2/\text{s}$ a $100 \text{ }^\circ\text{C}$, além de queda de $1,5 \text{ mg KOH/g}$ no TBN e aumento da oxidação em 107 Abs/cm . Na segunda etapa, com o uso de B100, verificou-se redução de aproximadamente 27,45% na viscosidade cinemática a $40 \text{ }^\circ\text{C}$ e de 14,28% a $100 \text{ }^\circ\text{C}$, além de diminuição de 7,76% no TBN. O ponto de fulgor apresentou redução de 52,55%, enquanto a oxidação aumentou em 88 Abs/cm e a fuligem em 7 Abs/cm . Observou-se também redução na concentração de aditivos, com destaque para o cálcio (queda de 420 mg/kg , cerca de 11%), além de reduções de 6% no magnésio, 11% no fósforo, 6% no zinco e 3% no molibdênio. Em relação ao desgaste, constatou-se aumento de $3,9 \text{ mg/kg}$ nos níveis de ferro. Apesar das variações observadas no processo de degradação, o lubrificante manteve desempenho dentro dos limites operacionais do motor, sem comprometer seu funcionamento. Os resultados indicam a viabilidade do uso de biodiesel B100, desde que associado ao desenvolvimento de lubrificantes com formulações mais adequadas às condições impostas por esse combustível.

Palavras-chave: Biodiesel (B100). Óleo lubrificante. Degradação do lubrificante. Motor de ignição por compressão. Viscosidade.

ABSTRACT

This work experimentally evaluated the degradation of Urania 3000 SE lubricating oil in an MWM D229/4 engine coupled to a motor-generator set, operating under a constant power of 27.5 kW and a rotation of 1800 ± 20 rpm. The research was developed in two stages: in the first, the performance of the lubricant was investigated with the use of different fuels (S10 diesel, biodiesel and mixtures containing ethanol); in the second, the analysis focused on operation with soybean biodiesel (B100). The study was motivated by the growing use of biofuels and the need to understand their effects on lubricating oil and the performance of compression ignition engines, with the aim of identifying alternatives that reduce the effects of degradation and increase operational reliability.

The results highlighted the need to improve the lubricant formulation, especially with regard to the additive package, in order to mitigate effects such as viscosity loss, increased oxidation, increased acidity, reduction in Total Base Number (TBN), and an increase in metallic particles. In the first stage, changes in the oil properties were observed, with a reduction in viscosity, reaching $45.37 \text{ mm}^2/\text{s}$ at $40 \text{ }^\circ\text{C}$ and $3.57 \text{ mm}^2/\text{s}$ at $100 \text{ }^\circ\text{C}$, in addition to a drop of 1.5 mg KOH/g in TBN and an increase in oxidation by 107 Abs/cm . In the second stage, with the use of B100, a reduction of approximately 27.45% in kinematic viscosity at $40 \text{ }^\circ\text{C}$ and 14.28% at $100 \text{ }^\circ\text{C}$ was observed, in addition to a decrease of 7.76% in TBN. The flash point showed a reduction of 52.55%, while oxidation increased by 88 Abs/cm and soot by 7 Abs/cm . A reduction in the concentration of additives was also observed, especially calcium (a drop of 420 mg/kg , about 11%), in addition to reductions of 6% in magnesium, 11% in phosphorus, 6% in zinc and 3% in molybdenum. Regarding wear, an increase of 3.9 mg/kg in iron levels was observed. Despite the variations observed in the degradation process, the lubricant maintained performance within the engine's operating limits, without compromising its operation. The results indicate the viability of using B100 biodiesel, provided that it is associated with the development of lubricants with formulations more suited to the conditions imposed by this fuel.

Keywords: Biodiesel (B100). Lubricating oil. Lubricant degradation. Compression-ignition engine. Viscosity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de lubrificação	38
Figura 2 - Peças móveis danificadas.....	38
Figura 3 - Contato tribológico	42
Figura 4 - Geometria geral do contato.....	42
Figura 5 - Lubrificação Limítrofe.....	45
Figura 6 - Lubrificação hidrodinâmica	48
Figura 7 - Reação de transesterificação do biodiesel.....	60
Figura 8 - Molécula de um biodiesel (éster) etílico	61
Figura 9 - Descrição do óleo lubrificante	69
Figura 10 - Fluxograma de atividades	72
Figura 11 - Alterações realizadas no motor e os sensores instalados	74
Figura 12 - Fluxograma das atividades	77
Figura 13 - Painel de Controle – Parâmetros monitorados	78
Figura 14 - Interface do sistema de aquisição de dados	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aditivos utilizados em óleos automotivos	58
Tabela 2 - Especificação do Biodiesel.....	64
Tabela 3 - Resultados obtidos em ensaios de motores.....	66
Tabela 4 - Informação técnica do conjunto motor gerador	73
Tabela 5 - Composição das misturas utilizadas nos testes.....	82
Tabela 6 - Amostra de óleos coletados	82
Tabela 7 - Dados de temperatura e carga no momento da amostragem	83
Tabela 8 - Resultado das análises	84

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comportamento do desgaste	41
Gráfico 2 - Coeficiente de atrito vs. parâmetro de filme e regimes de lubrificação	44
Gráfico 3 - Índice de Viscosidade	51
Gráfico 4 - Viscosidade a 40°C	88
Gráfico 5 - Viscosidade 100°C	89
Gráfico 6 – Número Base Total TBN	90
Gráfico 7 - Ponto de fulgor °C	90
Gráfico 8 - Variação da oxidação	91
Gráfico 9 - Variação da fuligem	92
Gráfico 10 - Variação do Cálcio	93
Gráfico 11 - Variação dos índices cobre	94
Gráfico 12 - Variação dos índices de ferro	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo da aplicação misturas de Biodiesel.....	34
Quadro 2 - Característica do óleo lubrificante aplicado em motores do ciclo Diesel ...	35
Quadro 3 - Coeficientes de atrito para diferentes tipos de condições de contato.....	43
Quadro 4 - Apresenta as faixas do Índice de viscosidade (IV).	52
Quadro 5 - Resumo dos problemas operacionais devido uso de óleos vegetais	62
Quadro 6 - Vantagens e precauções na utilização do biodiesel.....	65
Quadro 7 - Propriedades típicas do óleo urania SE 15W – 40	70
Quadro 8 - Análise das características dos óleos lubrificantes	71
Quadro 9 - Relação dos componentes do grupo motor-gerador	75
Quadro 10 - Incerteza do valor medido das propriedades do óleo.....	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACEA	European Automobile Manufacturers' Association
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
API	American Petroleum Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
AAM	Alliance of Automobile Manufacturers
AGMA	American Gear Manufacturers Association
ANP	Agência Nacional de Petróleo e Biocombustível
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ATIEL	Associação Técnica da Indústria Europeia de Lubrificantes
ACEA	Associação dos Construtores Europeus de Automóveis
CEC	Conselho Europeu de Coordenação
C.C.S	Simulator Cold-Cranking
CPMEC	Centro de Pesquisa em Motores, Emissões e Combustíveis
DSC	Calorimetria Exploratória Diferencial
DIN	Deutsches Institut für Normung
EMA	Engine Manufacturers Association
EU	União Europeia
FAME	Ésteres Metálicos de Ácidos Graxos
<i>GNV</i>	Gás natural veicular
HTHS	High Temperature, High Shear
ILSAC	Ingles International Lubricant Specification Advisory Committee
ISO	International Organization for Standardization
MWM	Motoren Werke Mannheim
NBR	Normas Brasileiras Registradas
PQIA	Petroleum Quality institute or America
PTFE	Politetrafluoroetileno
PAO	Polialfaolefinas
POE	Poliol-éster
PM	Material particulado
SUS	Saybolt Universal Seconds
<i>TAN</i>	Total Acid Number

<i>TBN</i>	Número Base Total
<i>THC</i>	Hidrocarbonetos totais
ZDDP	Dialquilditiofosfato de zinco

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>A</i>	Área (m ²)
<i>AC</i>	Corrente Alternada
<i>Al</i>	Alumínio
<i>Abs/cm</i>	Absorbância por centímetro
<i>B100</i>	100% de Biodiesel
<i>B7</i>	Óleo diesel combustível contendo 7% de biodiesel na mistura
<i>B S10,</i>	Óleo diesel B S10, com no máximo 10 mg/kg de teor de enxofre
<i>C</i>	Indicação API para motores com ignição por compressão
<i>CH – 4</i>	Ignição por compressão, Classificação API 1998, motores 4 tempos
<i>CI – 4</i>	Ignição por compressão, Classificação API 2002, motores 4 tempos
<i>CJ – 4</i>	Ignição por compressão, Classificação API 2006, motores 4 tempos
<i>CN</i>	Número de Cetano
<i>CNG</i>	Compressed Natural Gas
<i>CO</i>	Monóxido de carbono
<i>Cr</i>	Cromo
<i>Cu</i>	Cobre
<i>C</i>	Carbono
<i>CCS</i>	Cold Cranking Simulator
<i>CO2</i>	Dióxido de Carbono de nitrogênio
<i>cP</i>	centi Poise
<i>Co₂</i>	Dióxido de carbono
<i>d</i>	Densidade [kg/m ³]
<i>EP</i>	Extrema Pressão
<i>E_A</i>	Energia de ativação necessária para que uma reação [J/mol]
<i>F</i>	Força de resistência (N)
<i>F</i>	Força de atrito (N)
<i>Fe</i>	Ferro
<i>FM</i>	Modificadores de Fricção
<i>F_{carga}</i>	Força da carga (N)
<i>F_{carga}</i>	Força da carga;
<i>h</i>	Espessura da película de lubrificante (mm)
<i>HC</i>	Hidrocarbonetos

<i>IV</i>	Índice de viscosidade
K_w	Valor específico do número de desgaste
<i>K</i>	Constante de taxa de reação química [adimensional]
<i>M</i>	Mineral
MoDTC	Ditiocarbamato de Molibdênio
MoS ₂	Bissulfeto de Molibdênio
mPas	mili segundo Pascal
MoS ₂	Dissulfeto de molibdênio
MP	Material Particulado
MB228.3	Homologação interna de óleo multidiscos da Mercedes-Benz
<i>Mg</i>	Magnésio
m/m	Massa por massa.
<i>mg</i>	massa da carga
<i>NO_x</i>	Óxidos de nitrogênio
<i>N</i>	Número de desgaste
<i>N</i>	Força Normal
<i>NO</i>	Óxido nítrico
<i>Ni</i>	Níquel
<i>O₂</i>	Oxigênio
R_{qA}	Rugosidade a superfície A [unidade]
R_{qB}	Rugosidade a superfície B [unidade]
<i>R</i>	Constante do Gás [J/mol, K]
SAE	Sociedade dos Engenheiros Automotivos
SL	Classificação API para óleos atendem motores 2004 e anteriores
<i>s</i>	Distância de deslizamento [m]
<i>S</i>	Sintético
SI	Sistema Internacional
SO ₂	Dióxido de enxofre
<i>T</i>	Temperatura [K]
<i>V</i>	Volume removido da superfície [mm ³ /m]
<i>V</i>	Velocidade [m/s] [<i>m. s</i> ⁻¹]
VT	Viscosidade e temperatura
<i>W</i>	<i>W</i> “winter”, óleo multiviscoso atende viscosidade a frio
<i>Zn</i>	Zinco

LISTA DE SÍMBOLOS GREGOS

α	Percentual em base mássica da mistura (%)
α	Fator de normalização (adimensional)
τ	Tensão de cisalhamento do lubrificante (Pa, N/m ²)
y	Distância (m)
ν	Viscosidade Cinemática [mm ² /s]
μ	Coeficiente de viscosidade ou viscosidade absoluta ou dinâmica do referido fluido [N. s / m ²]
τ	Tensão de cisalhamento do lubrificante (Pa, N/m ²)
Λ	Parâmetro do filme do Fluido (adimensional)
η	viscosidade dinâmica (em Pa·s ou centipoise, cP);

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Justificativa.....	22
1.2 Objetivos.....	24
1.3 Escopo da Dissertação.....	24
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	26
2.1 Aplicação de misturas: biodiesel e etanol como combustível em motores Diesel.....	26
2.2 Estudo do comportamento do óleo lubrificante aplicado em motores do ciclo Diesel.....	28
2.3 Estudo do comportamento do óleo lubrificante aplicado em motores do ciclo Diesel com injeção de hidrogênio	31
2.4 Estado da Arte	33
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	37
3.1 Lubrificação	37
3.2 Sistema de lubrificação em motor de combustão interna	37
3.3 Atrito.....	39
3.4 Desgaste	39
3.5 Contatos Tribológico	41
3.6 Propriedades comuns dos lubrificantes	46
3.7 Aditivos	55
3.8 Análise físico-química do óleo.....	58
3.9 Biodiesel	60
4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL	69
4.1 Descrição do lubrificante utilizado	69
4.2 Aparato experimental.....	72
4.3 Adaptações no grupo motor-gerador.....	74
4.4 Preparação do aparato experimental.....	76
4.5 Realização do experimento	77
4.6 Incerteza de medição	80

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	81
5.1 Resultados e discussões da primeira etapa	81
5.2 Resultados e discussões da segunda etapa	86
5.2.1 - Análise dos resultados dos testes - segunda fase	87
6 CONCLUSÃO	96
6.1 Sugestão de trabalhos futuros	97
REFERÊNCIAS	98
APENDICE A - status das análises por item	103
APENDICE B – Planilha resumo das análises	104
ANEXO A – Product Data Sheet	105
ANEXO B – S-220725 00099 - óleo novo	107
ANEXO C – S-220725 00100 – S10	109
ANEXO D – S-220725-00101– biodiesel + etanol 50/50	111
ANEXO E – S-220725-00102 – biodiesel + etanol 40/60	113
ANEXO F – S-220725-00103 – biodiesel + etanol 60/40	115
ANEXO G – S-220725-00104 – diesel + S10 50/50	117
ANEXO H – S-220725-00105 – diesel S10 + Etanol 50/50	119
ANEXO I – Informações técnica dos equipamentos utilizados na aquisição de dados conforme fabricantes	121
ANEXO J – laudos técnicos das análises realizadas na segunda etapa _ uso de biodiesel 100 %	122

1 INTRODUÇÃO

O aumento da temperatura média global e a intensificação das mudanças climáticas têm impulsionado compromissos internacionais voltados à redução das emissões de gases de efeito estufa e à progressiva substituição dos combustíveis fósseis, com metas estabelecidas até meados do século XXI.

Nesse cenário, os biocombustíveis emergem como alternativas relevantes, apresentando resultados consistentes especialmente nos setores de transporte, navegação e em aplicações estacionárias fortemente dependentes do óleo diesel. Como resposta a esse contexto, observa-se a ampliação gradual da fração de biodiesel incorporada ao diesel mineral.

Todavia, embora apresente vantagens ambientais, o biodiesel possui características físico-químicas específicas que podem afetar negativamente a durabilidade e o desempenho dos óleos lubrificantes utilizados em motores de ignição por compressão, tornando indispensável a realização de estudos que avaliem a interação entre o combustível e o fluido lubrificante e seus reflexos sobre a eficiência operacional e a vida útil dos motores (Song *et al.*, 2023).

Estudos recentes indicam que a contaminação do óleo lubrificante por biodiesel pode ocorrer ainda nas fases iniciais de operação do motor, promovendo alterações relevantes em suas propriedades físico-químicas. Chybowski *et al.* (2023) observaram que concentrações inferiores a 5% de biodiesel no lubrificante são suficientes para provocar redução da viscosidade, modificações no ponto de fluidez e diminuição do índice de viscosidade, comprometendo a capacidade de formação da película lubrificante e elevando o risco de desgaste prematuro dos componentes. Em uma análise ampliada, os autores destacam a aceleração dos processos de degradação térmica do óleo e sugerem limites máximos de diluição como forma de preservar a confiabilidade operacional do sistema.

Resultados semelhantes foram reportados por Kurre *et al.*, (2021), que identificaram aumento do número ácido total (TAN), redução do número básico total (TBN) e elevação das concentrações de metais de desgaste, como ferro e cobre, evidenciando a intensificação dos processos de oxidação e corrosão interna. De forma complementar, Iswantoro *et al.*, (2021) verificaram que motores operando com misturas B30 e B50 apresentam taxas mais elevadas de desgaste metálico e redução progressiva da viscosidade do óleo lubrificante, sobretudo quando empregado

biodiesel de óleo de palma, cuja menor estabilidade oxidativa favorece sua migração para o cárter. Diante desses achados, torna-se essencial aprofundar a investigação dos mecanismos de degradação do óleo lubrificante em motores diesel alimentados com biodiesel, considerando variáveis como composição química do combustível, regime de operação, temperatura de trabalho e intervalos de manutenção. A compreensão desses fatores é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de monitoramento, otimização dos períodos de troca de óleo, aprimoramento das formulações lubrificantes e aumento da confiabilidade e durabilidade dos motores.

O biodiesel consolidou-se como uma alternativa relevante frente à crescente demanda energética global, destacando-se por sua origem renovável, biodegradabilidade e propriedades físico-químicas semelhantes às do diesel mineral. Sua produção ocorre por meio do processo de transesterificação de óleos vegetais ou gorduras animais, no qual os triglicerídeos reagem com álcoois de cadeia curta, geralmente metanol, resultando na formação de ésteres metílicos e glicerol como subproduto. Esse processo pode ocorrer com ou sem catalisadores, dependendo das condições operacionais e da matéria-prima empregada (Agarwal *et al.*, 2023).

Entre os principais benefícios associados ao biodiesel, destacam-se a redução das emissões de poluentes atmosféricos, como monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre e hidrocarbonetos não queimados, fatores que têm impulsionado sua utilização parcial ou total em substituição ao diesel fóssil. Apesar dessas vantagens, a literatura aponta que o uso do biodiesel pode acarretar impactos adversos sobre a vida útil dos motores diesel. Produtos oriundos da combustão e a diluição do combustível no óleo podem contaminar o fluido lubrificante, alterando suas propriedades e acelerando os processos de degradação. Como consequência, observa-se a necessidade de redução dos intervalos de troca do óleo, implicando diminuição da vida útil operacional do motor (Pereira *et al.*, 2019).

Ademais, ainda existem lacunas relevantes quanto aos efeitos do uso de biodiesel puro (B100) sobre a estabilidade e o desempenho do óleo lubrificante, uma vez que grande parte dos estudos disponíveis concentra-se em misturas contendo até 20% de biodiesel (B20), nas quais já foram constatadas alterações físico-químicas e indícios de desgaste acentuado de componentes internos (Saputro *et al.*, 2022).

O monitoramento das condições operacionais do motor, aliado à detecção precoce de falhas e à avaliação do estado do óleo lubrificante, constitui uma ferramenta essencial para assegurar desempenho e durabilidade. Nesse contexto, a

análise preditiva de óleo destaca-se por permitir o acompanhamento de parâmetros como viscosidade, ponto de fulgor, número base total (TBN), teor de umidade, insolúveis em solvente, presença de material particulado e contaminações químicas. Esses indicadores fornecem informações relevantes sobre o grau de degradação do lubrificante, os mecanismos de desgaste em operação e o estado geral do motor (Arvind; Kumar, 2023).

Entre as principais funções dos lubrificantes automotivos está a redução das perdas por atrito entre as partes móveis, contribuindo para o aumento da eficiência energética dos motores. Nesse sentido, o desenvolvimento de lubrificantes de menor viscosidade tem sido uma tendência para atender às exigências dos motores modernos. Contudo, é fundamental estabelecer um equilíbrio entre desempenho e proteção contra desgaste, uma vez que diferentes regimes de lubrificação coexistem em um mesmo sistema. Para atender a essa demanda, a utilização de aditivos específicos para controle do atrito e do desgaste tem se mostrado uma estratégia eficaz.

Dentre os aditivos empregados, destacam-se os modificadores de fricção, como o ditiocarbamato de molibdênio (MoDTC), reconhecido por sua elevada eficiência na redução do atrito. Em algumas formulações, esse aditivo é associado ao dissulfeto de molibdênio (MoS_2), um lubrificante sólido com alta afinidade por superfícies metálicas. Estudos indicam que a adição de aproximadamente 1% de MoDTC pode reduzir o atrito ao longo de toda a faixa de rotação do motor, com desempenho mais expressivo em baixas rotações, em torno de 1000 rpm, promovendo reduções de até 2,5% no torque de atrito (Espejo *et al.*, 2020).

A temperatura de operação exerce influência direta sobre o desempenho e a vida útil do óleo lubrificante. Para ampliar a estabilidade térmica e reológica, empregam-se polímeros modificadores de viscosidade, que contribuem para a manutenção das propriedades do lubrificante em motores alimentados com biodiesel (Aharonovich; Diesendruck, 2018). Uma lubrificação eficiente é essencial para minimizar atrito, aquecimento excessivo e desgaste dos componentes, podendo envolver diferentes regimes de lubrificação, como hidrodinâmica, hidrostática, elastohidrodinâmica e sólida, cuja predominância depende da espessura da película de óleo, das cargas aplicadas e das condições de operação.

O estudo do atrito e dos sistemas tribológicos associados ao funcionamento de motores diesel é, portanto, fundamental para a compreensão do desempenho

mecânico e para o controle do desgaste. Ensaios tribológicos permitem determinar intervalos adequados de troca de óleo e avaliar a influência do combustível sobre o comportamento do lubrificante, fornecendo subsídios técnicos para a manutenção preditiva (Hutchings; Shipway, 2017).

Diante desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a degradação do óleo lubrificante 15W-40 aplicado em um motor diesel aspirado operando com biodiesel puro (B100). Para tal, utilizou-se a análise preditiva de óleo como ferramenta principal, possibilitando a identificação de contaminações provenientes do combustível e o monitoramento do estado do lubrificante ao longo do tempo.

A investigação buscou compreender o comportamento do óleo e os fatores associados à sua degradação, contribuindo para o diagnóstico do estado do motor por meio de métodos não invasivos e não destrutivos, permitindo a detecção antecipada de falhas, contaminações e desgaste antes de sua manifestação crítica.

1.1 Justificativa

O óleo lubrificante utilizado nos motores a combustão interna é considerado um item importante no funcionamento do mesmo. O seu desempenho pode determinar a vida útil do motor, tornando-se imprescindível uma análise crítica da degradação do óleo e sua compatibilidade com o combustível utilizado. A alteração da viscosidade dos óleos lubrificantes, aliada ao aprimoramento dos pacotes de aditivos, tem desempenhado papel relevante na melhoria do consumo específico de combustível, no desempenho dos motores e na redução das emissões de poluentes, conforme relatado por Almeida (2017).

Ao realizar o acompanhamento preditivo da degradação do óleo lubrificante, pode-se identificar parâmetros de desgaste do motor, visto que uma das características do óleo lubrificante é servir de elemento condutor dos contaminantes físicos e químicos, contribuindo para informar as partículas de desgaste e contaminações oriundas do funcionamento do motor. Ressaltar-se que a confiabilidade de um equipamento está relacionada com a confiabilidade do óleo lubrificante utilizado no motor. O emprego da técnica de análise preditiva do óleo lubrificante, também contribui para o monitoramento do desgaste das peças móveis internas do motor em movimento relativo e assim como a degradação do óleo

lubrificante, auxiliando na solução do problema de desgaste dos motores a combustão (Kurre *et al.* 2021).

Os motores a combustão interna estão em constante evolução tecnológica, com o decorrer dos tempos tem apresentado uma grande variedade de componentes com contatos de deslizamento e rolamento. Estes dissipam energia, consomem potência e apresentam superfícies em desgaste em função dos movimentos relativos.

Isto tem motivado a engenharia a uma compreensão da tribologia utilizada nesse sistema com o intuito de reduzir certos efeitos a níveis aceitáveis. Desta forma pretende-se obter informações para melhoria do desempenho do lubrificante, conseqüentemente a melhoria no desempenho do motor e redução do atrito entre as peças móveis, pois este último é um dos itens que consomem a potência do motor, os lubrificantes estão sendo aprimorados para eliminar este inconveniente (Hutchings; Shipway, 2017).

Ademais é importante ressaltar que o aumento acelerado da demanda mundial por combustível em função da modernização e da industrialização gerou a necessidade de desenvolvimento de novas alternativas energéticas.

Desta forma a maioria dos países em desenvolvimento tem a necessidade de importar o petróleo ou os seus derivados para suprir as suas demandas. A primeira crise do petróleo ocorreu em 1970 levando o mundo a desenvolver fontes de energia alternativa.

Também ocorrem muitos trabalhos com relação a preservação do meio ambiente e redução da queima de combustível fóssil, reduzindo assim os gases de escape, como monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂) e óxidos de nitrogênio (NO_x) que provocam o efeito estufa. Em função da facilidade de insumos de produção que proporcionam uma boa disponibilidade, o biodiesel é um biocombustível que apresenta uma boa opção para operação nos motores do ciclo Diesel.

O mesmo também possui as seguintes vantagens: biodegradável, oxigenado, não tóxico, ambientalmente renovável e propriedades químicas semelhantes ao diesel. Acrescente-se um número de cetano (CN) mais alto, baixo índice de enxofre e sem aromáticos. Quanto as emissões de hidrocarbonetos (HC), monóxido de carbono (CO) e partículas nos gases de escape, são bem mais reduzidas se comparadas com o óleo diesel, porém o biodiesel apresenta algumas desvantagens em relação ao óleo diesel, tais como uma maior viscosidade, baixo valor energético se comparado ao diesel, e baixa lubrificidade (Hasan; Rahman, 2017).

Diante do exposto, este estudo justifica-se pela necessidade de compreender, de forma integrada, o comportamento do óleo lubrificante em motores de combustão interna, especialmente sob as condições impostas pelo uso de biocombustíveis. Além disso, busca-se validar uma ferramenta preditiva capaz de aumentar a confiabilidade na análise do óleo em motores alimentados com biodiesel, bem como avaliar sua degradação em motores de ignição por compressão operando com biodiesel puro (B100).

1.2 Objetivos

Objeto geral deste trabalho é avaliar o processo de degradação do óleo lubrificante **Urania 3000 SE SAE 15W-40** (classificação **API CI-4/CH- 4, API SL**), durante sua aplicação em um **motor MWM D-229/4**, de ciclo **Diesel**, com **injeção direta**, acoplado a um grupo gerador e operando exclusivamente com **biodiesel (B100)** como combustível.

Objetivos específicos:

- a) Caracterizar as alterações físico-químicas do lubrificante ao longo do tempo de operação, sob condições específicas de carga e regime térmico;
- b) Identificar, avaliar, e interpretar, as possíveis alterações das características originais do óleo lubrificante utilizado de acordo com as análises realizadas;
- c) Verificar a necessidade de drenagem do óleo lubrificante em estudo, utilizando a ferramenta preditiva análise de óleo.

1.3 Escopo da Dissertação

A presente dissertação está estruturada em sete capítulos, conforme descrito a seguir:

Capítulo 2: Apresenta a **revisão da literatura**, com ênfase nas aplicações e impactos da utilização de misturas de biodiesel em motores de ciclo Diesel. São abordados aspectos relacionados ao desempenho operacional, desgaste de

componentes e influência no comportamento e na degradação do óleo lubrificante.

Capítulo 3: Expõe os **fundamentos teóricos** que sustentam o estudo, contemplando os princípios de funcionamento dos motores de ciclo Diesel, as características físico-químicas do biodiesel e os principais mecanismos associados à degradação de lubrificantes em condições de operação com biocombustíveis.

Capítulo 4: Descreve a **metodologia experimental** empregada, incluindo a caracterização do grupo gerador utilizado, os parâmetros operacionais adotados, o delineamento do ensaio e os procedimentos de coleta e análise do óleo lubrificante ao longo do período de testes.

Capítulo 5: Este capítulo apresenta os resultados e a discussão da primeira etapa experimental, com foco na **avaliação da eficácia da análise preditiva do óleo lubrificante** como ferramenta de monitoramento de sua degradação durante a operação do motor com misturas de combustível. Ademais, são apresentados e discutidos os resultados da segunda etapa do estudo, na qual são abordados os **efeitos observados no óleo lubrificante** durante a operação do motor com 100% de biodiesel.

Capítulo 6: Este capítulo **apresenta as conclusões obtidas** ao longo do desenvolvimento da pesquisa, a partir da análise integrada dos resultados experimentais, físico-químicos e tribológicos do óleo lubrificante avaliado. São sintetizados os principais efeitos observados durante a operação do motor, bem como discutidas as implicações desses resultados para o monitoramento da degradação do lubrificante. Por fim, são propostas recomendações e direcionamentos para estudos futuros, visando ao aprofundamento das análises e à ampliação do conhecimento sobre o comportamento tribológico e químico de óleos lubrificantes em motores de combustão interna por compressão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são discutidos trabalhos da literatura que abordam os mecanismos associados à degradação do óleo lubrificante em motores de ignição por compressão operando com diferentes misturas de combustíveis. A análise concentra-se, sobretudo, nos efeitos da utilização de biodiesel sobre o desempenho, a durabilidade e o comportamento tribológico dos lubrificantes empregados nesses sistemas.

2.1 Aplicação de misturas: biodiesel e etanol como combustível em motores Diesel

Kurre *et al.*, (2021) investigaram o desempenho de um motor monocilíndrico de ignição por compressão operando com uma mistura composta por 80% de óleo diesel, 10% de etanol e 10% de biodiesel, mantido em regime estacionário de 1500 rpm por um período total de 100 horas. Durante o ensaio, amostras do óleo lubrificante SAE 20W-40 foram coletadas a cada 20 horas de operação, seguindo procedimentos padronizados de monitoramento, com volume individual de 100 ml.

As análises físico-químicas permitiram avaliar tanto o estado do lubrificante quanto os mecanismos de desgaste do motor, com destaque para a quantificação de ferro e cobre, além da variação da viscosidade e de outros parâmetros relevantes.

Ao final do período de operação, verificou-se um aumento de 38,9% na concentração de ferro e de 3,6% na de cobre, evidenciando a ocorrência de desgaste de natureza corrosiva, associado principalmente à presença do etanol na mistura combustível. Adicionalmente, foram observadas reduções de 0,23% na densidade e de 39,5% na viscosidade do óleo, indicando degradação acelerada do lubrificante. O número base total (TBN) apresentou redução de 28,5%, refletindo o aumento da acidez do meio, enquanto o número ácido total (TAN) mostrou tendência crescente ao longo do ensaio, caracterizando a intensificação dos processos oxidativos e corrosivos no fluido lubrificante.

Em estudo voltado à aplicação do etanol em motores do ciclo Diesel, Oliveira (2015) avaliou diferentes estratégias de injeção desse combustível em um motor operando originalmente com óleo diesel contendo 7% de biodiesel (B7). O autor analisou tanto a injeção direta de etanol anidro na câmara de combustão, em

proporções de 5%, 10% e 15%, quanto a injeção de etanol hidratado no coletor de admissão, em percentuais variando de 5% a 30%. Inicialmente, os testes foram realizados sem modificações no motor, sendo posteriormente desenvolvido um sistema de injeção indireta com controle eletrônico para a dosagem do etanol.

Os ensaios foram conduzidos em um grupo motor-gerador equipado com motor Diesel de 49 kW de potência nominal e sistema de aquisição de dados, permitindo a avaliação do desempenho e das emissões em diferentes configurações de operação. Os resultados demonstraram a viabilidade técnica do uso do etanol como combustível complementar em motores Diesel, tanto por meio de misturas diretas quanto pela injeção no sistema de admissão.

Constatou-se que o sistema de injeção indireta possibilitou maior controle da substituição do diesel por etanol, sendo identificada melhor estabilidade operacional para percentuais de substituição de até 15%. O estudo também evidenciou a necessidade de adaptações no sistema de injeção do diesel para viabilizar a aplicação eficiente do etanol nesses motores.

Resultados semelhantes quanto aos benefícios ambientais do uso de misturas contendo biodiesel e etanol foram apresentados por Profito *et al.*, (2013). Em seus experimentos, os autores observaram significativa redução nas emissões de material particulado ao empregar misturas desses combustíveis em um motor monocilíndrico de ignição por compressão com injeção direta. Foram avaliadas diferentes condições de operação, utilizando óleo diesel de baixo teor de enxofre, biodiesel puro e uma mistura contendo 80% de biodiesel e 20% de etanol.

Segundo os autores, o aumento do tempo de mistura ar-combustível, aliado à elevada fração de oxigênio presente no etanol, contribuiu para a melhoria do processo de combustão e para a expressiva redução das emissões de material particulado. Concluiu-se que a adição de etanol ao biodiesel amplia a faixa de operação do motor e favorece resultados ambientais mais satisfatórios.

Liu *et al.*, (2010) analisaram o desempenho de um motor Diesel operando com misturas de óleo diesel e etanol aditivado, com ênfase nos efeitos sobre eficiência térmica, consumo de combustível e emissões. Os autores verificaram que a adição de etanol resultou em redução do índice de fumaça e da emissão de material particulado, atribuída principalmente às propriedades físico-químicas do combustível e ao aumento do atraso de ignição. Observou-se melhoria em aspectos do processo de combustão, com redução do consumo específico de combustível e aumento da

eficiência térmica à medida que se elevava a fração de etanol, especialmente para misturas contendo até 30%. A utilização de um melhorador de número de cetano, como o nitrato de Etilhexila (EHN), mostrou-se eficaz para compensar o atraso de ignição e otimizar o desempenho do motor.

Com relação a emissões, foi verificado que os níveis de monóxido de carbono e hidrocarbonetos diminuíram com o aumento da carga do motor, enquanto as emissões de óxidos de nitrogênio permaneceram próximas às observadas com diesel puro. Reduções expressivas de monóxido de carbono e material particulado, da ordem de 23,7% e 62,6%, respectivamente, foram registradas para misturas contendo 30% de etanol.

2.2 Estudo do comportamento do óleo lubrificante aplicado em motores do ciclo Diesel

As reações decorrentes do processo de ignição em motores do ciclo Diesel exercem influência direta sobre as propriedades físico-químicas e tribológicas do óleo lubrificante, impactando de forma significativa sua vida útil e o desempenho do sistema de lubrificação. A interação entre combustível, produtos da combustão e superfícies metálicas favorece alterações na espessura da película lubrificante, no regime de atrito e nos mecanismos de desgaste, tornando esse tema recorrente em estudos voltados à confiabilidade de motores operando com biocombustíveis.

Nesse contexto, Chybowski *et al.*, (2023) analisaram o efeito da contaminação do óleo lubrificante por diesel e biodiesel sobre propriedades como ponto de fulgor, densidade, coeficiente de variação da densidade com a temperatura, viscosidade cinemática, viscosidade dinâmica e índice de viscosidade.

O estudo avaliou óleos lubrificantes SAE 30 e SAE 40 submetidos à adição de combustível em diferentes proporções volumétricas, variando de 0% (óleo novo) até 75%, utilizando diesel com 7% de biodiesel (D93/B7).

Os resultados demonstraram que o aumento da diluição do óleo por combustível provoca redução progressiva da espessura da película lubrificante, elevando o atrito entre as superfícies em movimento relativo.

Os autores identificaram como crítica a faixa de contaminação entre 2% e 5%, sendo recomendada intervenção imediata quando os níveis atingem valores entre 5% e 8%, condição na qual o óleo atinge seu limite máximo de degradação. Também foi

observada redução significativa do ponto de fulgor, aumentando o risco de ignição do lubrificante.

A avaliação do comportamento do óleo lubrificante em motores alimentados exclusivamente com biodiesel (B100) também tem sido amplamente investigada, sobretudo para a definição de intervalos adequados de troca.

Sentanuhady *et al.*, (2023) estudaram o efeito do uso contínuo de biodiesel de óleo de palma sobre a vida útil do lubrificante em motores Diesel aplicados em grupos geradores.

O experimento foi conduzido em um motor SCANIA DC16 093A, de oito cilindros, quatro tempos, refrigerado a água, operando a 1500 rpm por 218 horas. Utilizou-se o óleo lubrificante Meditran SX 15W-40, com monitoramento por meio de análises realizadas em intervalos de 0, 82, 164 e 218 horas.

Os resultados indicaram reduções expressivas da viscosidade cinemática, especialmente a 40 °C (32,5%) e a 100 °C (21,4%), em comparação ao óleo novo. Observou-se ainda diminuição do TBN ao longo do tempo de operação, atribuída ao caráter ácido do biodiesel, além de alterações na concentração de aditivos e aumento dos metais de desgaste, como ferro, cobre e chumbo, evidenciando degradação progressiva do fluido lubrificante.

A oxidação do óleo lubrificante constitui um dos principais mecanismos associados à sua degradação acelerada, sendo fortemente influenciada pela presença de ésteres metílicos de ácidos graxos (FAME), principais constituintes do biodiesel. Segundo Song *et al.*, (2023), esses compostos intensificam os processos oxidativos, sobretudo quando em contato com superfícies metálicas aquecidas, atuando de forma sinérgica com elementos catalisadores presentes no sistema.

Em seu estudo, os autores empregaram ensaios de oxidação de bancada (CEC L-109 - ensaio padronizado de oxidação), testes internos de oxidação e análises por calorimetria exploratória diferencial (DSC - Calorimetria Exploratória Diferencial). Os resultados evidenciaram que a combinação entre FAME (Ésteres Metílicos de Ácidos Graxos) e ferro promove degradação significativa do lubrificante em períodos inferiores a cinco dias, enquanto a avaliação isolada desses componentes não apresentou efeitos relevantes, confirmando a natureza sinérgica do processo oxidativo.

A influência do biodiesel sobre a tribologia do sistema pistão–camisa também foi investigada por Arvind e Kumar (2023), que analisaram o desgaste da camisa do cilindro e o comportamento do óleo lubrificante em um motor Diesel monocilíndrico

operando com biodiesel derivado de óleo de cozinha. Durante 512 horas de ensaio, amostras do óleo SAE 15W-40 foram coletadas a cada 16 horas. Os resultados indicaram aumento moderado da viscosidade e da densidade do lubrificante, redução do ponto de inflamação e elevação do teor de umidade. Apesar dessas alterações, observou-se redução na quantidade de partículas metálicas no óleo, sugerindo menor desgaste dos componentes internos, o que indica a viabilidade do uso desse tipo de biodiesel como combustível.

Falhas do filme lubrificante associadas a regimes severos de operação também são discutidas na literatura. Dahdah *et al.*, (2022) analisaram o fenômeno de arrastamento (scuffing) em contatos deslizantes, destacando o papel do gradiente térmico e do efeito Marangoni na redistribuição do óleo entre superfícies em movimento relativo. Por meio de modelagem matemática, os autores demonstraram que o gradiente de temperatura pode induzir o escoamento do lubrificante das regiões mais quentes para as mais frias, favorecendo falhas localizadas do filme. Em contrapartida, o movimento dos anéis do pistão contribui para a redistribuição do óleo, retardando o início do desgaste severo.

A durabilidade de motores Diesel operando com biodiesel também foi avaliada por Gupta e Agarwal (2021), que realizaram ensaios de longa duração em um motor automotivo Diesel, com monitoramento do desgaste de componentes internos e análises periódicas do óleo lubrificante. Os resultados indicaram que misturas contendo biodiesel podem ser utilizadas sem provocar danos significativos ao motor, não sendo observada degradação crítica do lubrificante ao longo do período avaliado.

Ensaio laboratoriais conduzidos por Milano *et al.*, (2021), utilizando o teste de quatro esferas conforme a ASTM D4172, demonstraram que a contaminação do óleo lubrificante por biodiesel pode reduzir a viscosidade e o coeficiente de atrito, além de diminuir o diâmetro da marca de desgaste. Os autores observaram que, apesar da diluição do óleo por combustível ao longo do uso prolongado, a elevada lubrificidade do biodiesel contribuiu para a mitigação do desgaste entre as superfícies em contato.

Bezerra *et al.*, (2021) investigaram a degradação do óleo lubrificante em um motor Diesel MWM D229 operando com biodiesel, por meio de análises realizadas ao longo de três anos. Os resultados indicaram redução da viscosidade e do índice de viscosidade, além da formação de ésteres detectados por espectroscopia no infravermelho, evidenciando a contaminação do óleo. Embora não tenham sido observados danos significativos ao motor, os autores recomendam a redução dos

intervalos de troca de óleo e a adaptação dos pacotes de aditivos para aplicações com biodiesel.

Estudos conduzidos por Sentanuhady *et al.*, (2020) reforçam que motores operando com biodiesel B100 apresentam taxas mais elevadas de degradação do óleo lubrificante quando comparados a misturas B20, com reduções mais acentuadas da viscosidade e do TBN. Resultados semelhantes foram observados em ensaios de 300 horas com motores Kubota, nos quais a utilização de biodiesel puro intensificou os processos de degradação do fluido.

A literatura também destaca o papel dos óleos lubrificantes de baixa viscosidade na redução do consumo de combustível e do desgaste dos componentes. Rejowski, Tomanik e Souza (2016) demonstraram que lubrificantes de menor viscosidade pode ser utilizados com segurança em motores Diesel, apresentando menor desgaste e intervalos de troca mais longos. Van Dam, Booth e Parsons (2014) corroboraram esses achados, observando ganhos significativos em economia de combustível e redução do atrito em motores Diesel modernos, associados à utilização de lubrificantes de baixa viscosidade e pacotes de aditivos aprimorados.

Por fim, estudos tribológicos e simulações computacionais, como os realizados por Taylor *et al.* (2014) e Profito *et al.*, (2013), evidenciam que a viscosidade e a formulação do lubrificante exercem papel determinante no controle do desgaste e na eficiência energética dos motores. Resultados experimentais indicam que lubrificantes de baixa viscosidade e baixo atrito reduzem o desgaste das superfícies em contato e contribuem para a economia de combustível, desde que adequadamente formulados para suportar as condições térmicas e mecânicas do motor.

2.3 Estudo do comportamento do óleo lubrificante aplicado em motores do ciclo Diesel com injeção de hidrogênio

A utilização da mistura diesel–hidrogênio tem se destacado como uma alternativa promissora para a redução das emissões atmosféricas e do consumo de combustíveis fósseis em motores de ignição por compressão. Contudo, além dos impactos no processo de combustão, torna-se fundamental compreender o comportamento do fluido lubrificante empregado nesses motores, uma vez que alterações nas condições de operação podem influenciar diretamente sua degradação e o desgaste dos componentes internos.

Nesse contexto, García *et al.*, (2022) investigaram as características das emissões de um motor Diesel operando com a adição de hidrogênio ao combustível diesel, avaliando simultaneamente o desempenho e as propriedades do óleo lubrificante. O interesse pelo hidrogênio decorre de seu elevado poder calorífico, elevada velocidade de chama e potencial para melhorar a eficiência da combustão em motores Diesel. No entanto, os autores ressaltam a necessidade de avaliar os efeitos dessa mistura sobre o sistema de lubrificação.

O estudo experimental foi conduzido em um motor Diesel operando sob quatro condições de torque (80 Nm, 120 Nm, 160 Nm e 200 Nm) e três vazões volumétricas de hidrogênio (0,75 L/min, 1,00 L/min e 1,25 L/min). Os resultados indicaram reduções de aproximadamente 3,50%, 6,79% e 4,42% nas emissões de monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC), evidenciando melhorias no processo de combustão com a adição de hidrogênio.

Entretanto, a análise do óleo lubrificante revelou impactos negativos relevantes. Observou-se uma redução de até 26% na viscosidade cinemática do óleo em comparação com o motor operando exclusivamente com diesel. Além disso, foram identificados aumentos significativos nas concentrações de elementos metálicos associados ao desgaste dos componentes internos do motor, tais como ferro (Fe), cobre (Cu), alumínio (Al) e cromo (Cr), com acréscimos de 17,7%, 29,27%, 21,95% e 27,41%, respectivamente. Esses resultados indicam intensificação do desgaste de componentes como pistão, cilindro, mancais e anéis de pistão.

Os autores também relataram um aumento de aproximadamente 4,40% nas emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x), atribuído às maiores temperaturas de combustão associadas à presença do hidrogênio. Adicionalmente, a análise físico-química do óleo evidenciou aumento da acidez e intensificação dos processos de oxidação, comprometendo a estabilidade do lubrificante ao longo do tempo de operação.

Dessa forma, concluiu-se que, embora a adição de hidrogênio ao diesel contribua para a melhoria do desempenho térmico do motor e para a redução de algumas emissões poluentes, seus efeitos adversos sobre o sistema de lubrificação não podem ser negligenciados. A degradação acelerada do óleo lubrificante e o aumento do desgaste dos componentes internos podem resultar em impactos econômicos e ambientais adicionais ao longo do ciclo de vida do motor.

Em complemento, Deheri *et al.* (2020) realizaram uma revisão bibliográfica abrangente sobre o uso de combustíveis alternativos em motores de ignição por compressão, com ênfase em sistemas de duplo combustível, como diesel–biogás e diesel–hidrogênio. O estudo teve como objetivo avaliar o desempenho do motor, os parâmetros de combustão e os efeitos sobre a eficiência térmica e as emissões.

Os autores observaram que a utilização de biogás em motores Diesel pode reduzir a eficiência térmica em até 13%, além de aumentar o consumo específico de combustível em até 36%. Por outro lado, verificou-se que parâmetros como a pressão máxima no cilindro e a taxa de liberação de calor podem ser elevados em até 30%, enquanto o atraso de ignição e a duração da combustão podem ser reduzidos entre 4% e 5%, especialmente quando associados ao avanço do ponto de injeção e ao aumento da taxa de compressão.

No que se refere às emissões, os sistemas de duplo combustível apresentaram reduções significativas de até 60% nas emissões de NO_x e material particulado, enquanto as emissões de CO e HC puderam aumentar em até 30%. O hidrogênio destacou-se como um vetor energético de elevado potencial, devido ao seu alto poder calorífico, elevada velocidade de chama, baixa energia de ignição e ausência de carbono em sua composição molecular, características que o tornam particularmente atrativo para o controle de emissões e a melhoria do desempenho de motores de combustão interna.

2.4 Estado da Arte

A análise da literatura especializada evidencia o avanço progressivo da utilização do biodiesel como alternativa ao óleo diesel de origem fóssil, motivado, sobretudo, pelo endurecimento das legislações ambientais voltadas à mitigação das emissões atmosféricas. Nesse cenário, diversos estudos têm direcionado atenção aos impactos dessa substituição sobre o desempenho dos fluidos lubrificantes empregados em motores de combustão interna.

De forma recorrente, os resultados reportados indicam a ocorrência de redução da viscosidade do óleo lubrificante em motores operando com biodiesel, fenômeno associado, principalmente, à diluição por combustível, intensificação dos processos oxidativos e alteração da estabilidade térmica do fluido. Tal comportamento pode

comprometer a formação adequada do filme lubrificante, elevando o risco de desgaste dos componentes móveis e reduzindo a vida útil do motor.

Adicionalmente, a literatura aponta para a necessidade de aprimoramento das formulações dos lubrificantes destinados a aplicações com biodiesel, com ênfase no fortalecimento dos pacotes de aditivos antioxidantes, detergentes e dispersantes. Esses aditivos desempenham papel fundamental na contenção da oxidação, na neutralização de subprodutos ácidos e na manutenção da limpeza interna do motor sob condições operacionais mais severas.

De maneira geral, os estudos revisados convergem quanto à utilização da análise físico-química do óleo lubrificante como ferramenta essencial para o acompanhamento do seu desempenho ao longo do período de uso. Essa abordagem permite avaliar a estabilidade do fluido, os mecanismos de degradação envolvidos e sua adequação às exigências operacionais impostas por motores de ignição por compressão alimentados com biodiesel.

2.4.1 Estado da arte com relação a aplicação de misturas:

O Quadro 1 resume o estado da arte em relação a aplicação de misturas de biodiesel e etanol como combustível em motores do ciclo diesel.

Quadro 1 - Resumo da aplicação misturas de Biodiesel

Propriedade do lubrificante	Indicadores	Autores
Viscosidade	Diminuindo	Kurre <i>et al.</i> (2021)
TAN	Aumentando	Kurre <i>et al.</i> (2021)
TBN	Diminuindo	Kurre <i>et al.</i> (2021)
Fuligem	Aumentando	Oliveira (2015)
	Diminuindo	Zhu <i>et al.</i> (2013); Liu <i>et al.</i> (2010)
Metais	Aumentando	Kurre <i>et al.</i> (2021)

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Quadro 2 resume o estado da arte com relação ao comportamento do óleo lubrificante aplicado em motores do ciclo Diesel.

Quadro 2 - Característica do óleo lubrificante aplicado em motores do ciclo Diesel

Propriedade do lubrificante	Indicadores	Autores
Viscosidade	Aumentando	Milano <i>et al.</i> (2021); Bezerra <i>et al.</i> (2021)
	Diminuindo	García <i>et al.</i> (2022); Senta nuhady <i>et al.</i> (2020); Gopal, Raj (2016); Pereira (2015); Van Dam, Booth e Parsons (2014); Van Dam <i>et al.</i> (2014); Taylor <i>et al.</i> (2014); Chybowski <i>et al.</i> (2023); Sentanuhady <i>et al.</i> (2023); Song <i>et al.</i> (2023); Arvind e Kumar (2023); Sentanuhady <i>et al.</i> (2020)
TAN	Aumentando	Senta nuhady <i>et al.</i> (2020); Sentanuhady <i>et al.</i> (2023)
	Diminuindo	Senta nuhady <i>et al.</i> (2020); Sentanuhady <i>et al.</i> (2023); Sentanuhady <i>et al.</i> (2020)
Aditivos	Diminuindo	Bezerra <i>et al.</i> (2021); Senta nuhady <i>et al.</i> (2020); Pereira (2015); Van Dam, Booth e Parsons (2014); Chybowski <i>et al.</i> (2023); Sentanuhady <i>et al.</i> (2020)
Metais	Aumentando	García <i>et al.</i> (2022); Milano <i>et al.</i> (2021); Sentanuhady <i>et al.</i> (2023); Song <i>et al.</i> (2023); Arvind e Kumar (2023)
Fuligem	Aumentando	Kurre, Garg e Pandey (2017)
Material particulado	Aumentando	Kurre, Garg e Pandey (2017)
Ponto de Fulgor	Diminuindo	Gopal, Raj (2016); Chybowski <i>et al.</i> (2023)
Umidade do óleo lubrificante	Aumentando	Arvind e Kumar (2023)
Óleo Lubrificante	Sem alteração	Gupta e Agarwal (2021)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nos estudos analisados, a análise de óleo lubrificante consolidou-se como uma metodologia eficiente para o acompanhamento das condições operacionais de motores, permitindo a identificação precoce de processos de desgaste metálico, a definição de intervalos adequados de troca, a detecção de contaminantes e a avaliação da integridade físico-química dos fluidos lubrificantes ao longo do tempo do uso. A literatura especializada oferece, portanto, um suporte técnico-científico consistente que fundamenta e justifica o desenvolvimento da presente pesquisa.

Nesse contexto, este trabalho tem como propósito avaliar o comportamento do óleo lubrificante durante sua aplicação em um motor Diesel operando exclusivamente com biodiesel de soja (B100), buscando caracterizar os principais mecanismos de degradação do fluido sob essas condições específicas de operação.

Pretende-se, assim, ampliar a compreensão acerca das alterações nas propriedades do lubrificante decorrentes do uso de combustíveis alternativos, contribuindo para o aprimoramento de estratégias de monitoramento, manutenção e formulação de lubrificantes destinados a motores de ignição por compressão.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos que sustentam o desenvolvimento desta dissertação, abrangendo os principais conceitos, princípios e mecanismos relacionados ao tema investigado.

3.1 Lubrificação

A definição de lubrificação baseia-se no princípio da inserção de uma substância simples ou composta entre as superfícies em movimento relativo com o objetivo de reduzir o atrito.

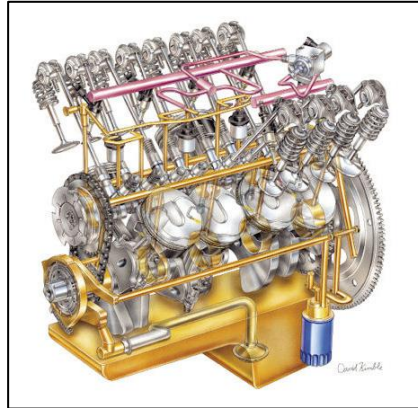
Uma das principais finalidades da utilização dos lubrificantes é de reduzir o atrito, desgaste das peças e proteger contra a oxidação, funcionando como elemento intermediário entre as superfícies das peças em movimento relativo, seja em conjuntos ou subconjuntos.

O método de lubrificação, o tipo de lubrificante e a viscosidade influenciam no desempenho do lubrificante, bem como no número de horas útil de funcionamento do fluido lubrificante em perfeitas condições de trabalho, portanto interferindo no rendimento da máquina ou equipamento. Observou-se que na indústria as substâncias derivadas do petróleo apresentaram melhores propriedades lubrificantes (Almeida, 2017).

3.2 Sistema de lubrificação em motor de combustão interna

A figura 1 ilustra o sistema de lubrificação das partes móveis do motor, apresentado o trajeto do óleo lubrificante que fica armazenado no cárter e através da bomba de óleo é pressurizado nas linhas de lubrificação, estas levam o óleo, para as buchas do comando de válvula, mancais fixos e móveis, guias de válvulas, bucha da biela, parte inferior do pistão e demais partes a serem lubrificadas, limpas ou arrefecidas.

Figura 1 - Sistema de lubrificação



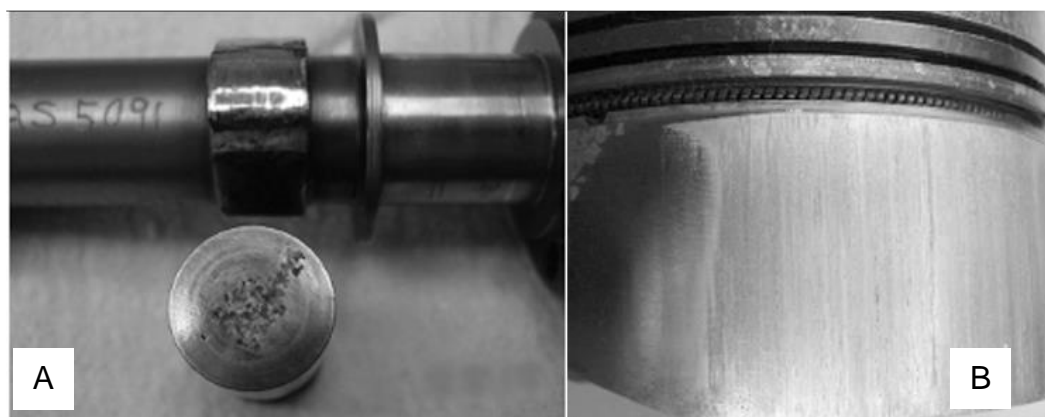
Fonte: Adaptado de Franco Brunetti, (2012, 47).

Encontram-se 3 tipos comuns de sistemas de lubrificação nos motores a combustão para atender todas as exigências de lubrificação do motor, estes sistemas são: Salpico ou aspersão, sob pressão ou lubrificação forçada e adição de lubrificante ao combustível no caso de motores a 2 tempos.

As exigências mais significativas são: redução do atrito, impedir o contato direto entre as peças em movimento relativo, reduzir o desgaste, possibilitar o arrefecimento dos componentes e peças lubrificadas e proteger contra corrosão e ferrugem.

A redução do atrito e redução do desgaste das peças móveis com movimento relativo se destacam entre as demais funções, pois quando o lubrificante falha encontramos os efeitos destes itens, conforme (figura 2), onde é apresentado um (A) eixo de comando de válvulas danificado, tucho e a (B) saia do pistão (Brunetti, 2012, p. 175).

Figura 2 - Peças móveis danificadas



Fonte: adaptada de Brunetti (2012, p. 176).

3.3 Atrito

De acordo com Almeida (2017), as superfícies em movimento relativo apresentam rugosidades com maior ou menor valor em função do acabamento, proporcionando assim um mecanismo de atrito por cisalhamento ou adesão. O atrito por cisalhamento ocorre quando os picos das duas superfícies entram em contato causando a quebra dos picos, e a adesão quando as superfícies entram em contato ocorrendo micro fusão.

Ainda conforme Almeida (2017), durante os movimentos relativos entre uma superfície e outra será encontrada uma força contrária ao movimento denominado atrito. O atrito estático é oriundo das forças inerciais quando as superfícies ficam sem movimento relativo, porém estão em contato. Nas situações em que as superfícies apresentam movimentos relativos denomina-se atrito dinâmico.

O atrito sólido ocorre durante o contato de duas superfícies sólidas em movimento relativo este é dividido em dois grupos.

- a) Atrito de deslizamento, quando as superfícies em movimento relativo tem contato uma com a outra;
- b) Atrito de rolamento, quando o movimento relativo acontece em função de corpos rolantes cilíndricos ou esféricos com área de contato menor devido à forma geométrica.
- c) O atrito hidrodinâmico ocorre quando durante o movimento relativo entre as peças é formada uma camada fluida lubrificante (líquida ou gasosa) proporcionando a separação das superfícies.

3.4 Desgaste

Conforme Carreteiro e Belmiro (2006), o primeiro objetivo da lubrificação é reduzir o atrito, porém, o objetivo final é diminuir o desgaste, levando-o aos níveis mínimos. Esse desgaste ocorre em função do movimento relativo entre as superfícies e as cargas impostas ao sistema. A lubrificação adequada tem como função reduzir ao máximo o desgaste, por meio da redução do atrito.

Objetivando diminuir o desgaste, identificou-se a sua origem e seus diversos tipos, que serão apresentados a seguir:

a) Desgaste por abrasão: ocorre em função da introdução de um material abrasivo entre as duas superfícies, utilizando o lubrificante como elemento de transporte, podendo ter aumentado o potencial de abrasão em função da dureza do material abrasivo;

b) Desgaste por desalojamento: ocorre em função da remoção do material (metal ou não metal) de uma determinada parte da superfície do componente e a sua deposição em outra parte;

c) Desgaste por corrosão: ocorre em função de contaminantes corrosivos no estado líquido ou gasoso;

d) Desgaste por endentação: ocorre em função da penetração de um material estranho de maior dureza (cavacos metálicos, impurezas);

e) Desgaste por fricção (*fretting*), que se caracteriza por endentações polidas provenientes de corrosão por vibração;

f) Desgaste por erosão: ocorre como consequência de outro desgaste, o desgaste por endentações, e ocorre em função da repetição de choques com pesadas sobrecargas; g) Desgaste por esfoliação ou escamação: ocasionado pela submissão do componente a esforços repetitivos, levando à fadiga em função do mesmo atingir o seu limite;

h) Desgaste por estriamento: ocorre em função de uma fraca circulação de corrente elétrica no mesmo trajeto, também podendo ocorrer devido à cavitação.

Conforme Torbacke, Rudolphi e Kassfeldt (2014), existem duas classificações básicas para o desgaste: leve e severo. O desgaste leve é conhecido como mais superficial e pode resultar na maioria das vezes em uma superfície mais lisa do que a superfície antes do desgaste. Já o desgaste grave, na maioria dos casos estudados, resulta em uma superfície com desgaste mais profundo e com maior aspereza do que a superfície original. O desgaste apresenta um comportamento contínuo entre as superfícies de movimento relativo, e o mesmo necessita de um controle para que não ocorra uma evolução acelerada. De acordo com Santos Junior (2011), alguns mecanismos associados ao desgaste dos motores são comumente encontrados, tais como: a) Desgaste adesivo (cilindros e anéis); b) Desgaste abrasivo (comes); c) Desgaste adesivo severo (cilindros, anéis e comes); d) Fadiga superficial com aparecimento de "*pitting*" (topo de haste de válvula, tuchos, balancins).

O gráfico 1 apresenta a curva do comportamento do desgaste até a falha do componente.

Gráfico 1 - Comportamento do desgaste



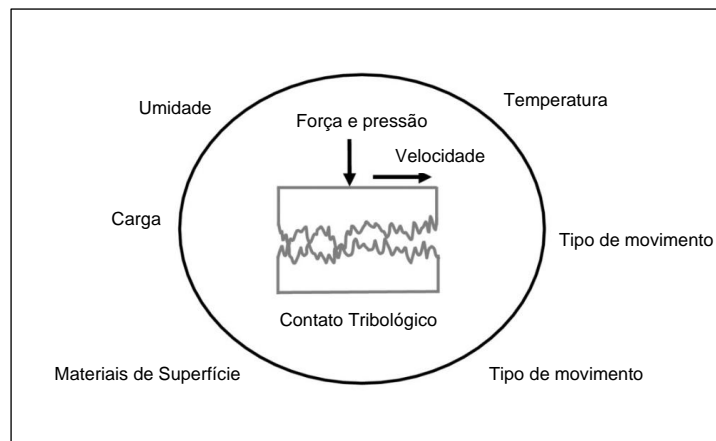
Fonte: Torbacke, Rudolphi e Kassfeldt (2014)

A análise do desgaste de superfícies em movimento relativo tem início na avaliação de componentes recém-fabricados, já submetidos aos tratamentos térmicos e acabamentos superficiais adequados à sua aplicação. O processo evolui pela fase de amaciamento, seguida por um período de desgaste estável e de baixa intensidade. À medida que o componente se aproxima do fim de sua vida útil, observa-se uma aceleração do desgaste, associada à exposição de regiões sem tratamento superficial e à degradação das condições de lubrificação, culminando na falha do componente.

3.5 Contatos Tribológico

Conforme Torbacke, Rudolphi e Kassfeldt (2014), define-se contato tribológico (Figura 3) como o contato entre duas superfícies em movimento relativo e um possível elemento inserido entre elas, podendo ser algum tipo de lubrificante. Este contato terá influência de outras variáveis como: velocidade, carga e tipo de movimentos, bem como outros parâmetros tais como: rugosidade, dureza e material da superfície. As condições ambientais também podem influenciar, como por exemplo o calor e a umidade. Quando o contato possuir a interferência de um lubrificante a sua viscosidade poderá influenciar o processo.

Figura 3 - Contato tribológico

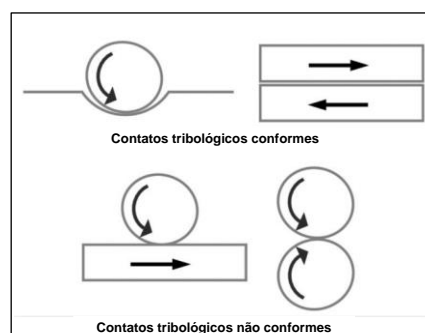


Fonte: Torbacke, Rudolphi e Kassfeldt (2014),

Em máquinas e equipamentos, encontram-se várias situações em que o contato metal-metal deverá ser controlado, quer seja pela utilização de um lubrificante ou inserindo uma liga metálica mais macia e um fluido lubrificante.

Com relação a contatos em macro escala, observou-se que a geometria geral do contato conforme apresentado na (Figura 4) é determinada pela forma geométrica dos corpos em contato, influenciando fortemente condições de operação e no desempenho do contato. O contato ideal é aquele em que as superfícies em movimento rotativo se encaixam exatamente ou próximas umas das outras, como duas superfícies planas em contato. O contato é qualificado como não conforme, se as superfícies dos corpos tiverem curvaturas diferentes Torbacke, Tudolphi e Kassfeldt, (2014).

Figura 4 - Geometria geral do contato



Fonte: Torbacke, Rudolphi e Kassfeldt (2014)

De acordo com Torbacke, Rudolphi e Kassfeldt (2014), e Hutchings (1992), as superfícies dos componentes de equipamentos e máquinas que apresentam movimento relativo entram em contato mecânico em função da rugosidade de seus materiais. Durante o movimento, a carga é suportada pelos picos dessas rugosidades, o que gera pressões locais elevadas, elevação de temperatura e deformações plásticas. Como consequência do atrito, ocorre uma redução gradual da rugosidade superficial.

Hutchings (1992) define o atrito como a força que se opõe ao movimento relativo entre corpos em contato superficial, podendo ser classificado como atrito seco ou atrito viscoso. Além disso, o atrito pode manifestar-se de duas formas: estático ou dinâmico.

Outro item muito importante apresentado por Hutchings (1992) é o coeficiente de atrito μ . O quadro 3 apresenta exemplos de coeficientes de atrito. Observou-se que as substâncias lubrificantes diminuem o atrito de forma expressiva nos contatos deslizantes. Porém, nos contatos de movimento rotativo, os lubrificantes são utilizados na distribuição de carga, e este efeito aumentará o coeficiente de atrito. Isso ocorre porque o lubrificante impede o movimento do corpo rolante por meio do atrito interno do fluido, também conhecido como cisalhamento viscoso. Mesmo que o atrito interno do fluido lubrificante venha a produzir uma resistência ao movimento rotativo, os contatos rolantes, na maioria dos casos, produzem um menor atrito do que os contatos deslizantes.

Quadro 3 - Coeficientes de atrito para diferentes tipos de condições de contato

Caso	Coeficiente de atrito	Tipo de movimento
Mancal não lubrificado	0,1 – 0,2	Deslizamento
Mancais lubrificados a óleo	0,01 – 0,09	Deslizamento
Rolamentos de rolos lubrificados a óleo	0,001 – 0,005	Rolamento
Rolamentos de rolos não lubrificados	0,0005 – 0,001	Rolamento

Fonte: Adaptado de Torbacke, Rudolphi e Kassfeldt (2014)

Conforme Torbacke, Rudolphi e Kassfeldt (2014), e Machado Guessasma e Machado (2018), a apresentação do desempenho do atrito em um contato lubrificado pode ser vista no gráfico 2, conhecida como a curva de “*Stribeck*”, em que é apresentada a relação do coeficiente de atrito μ versus o parâmetro do filme Λ .

Calcula-se o parâmetro do filme Λ utilizando a Equação 1:

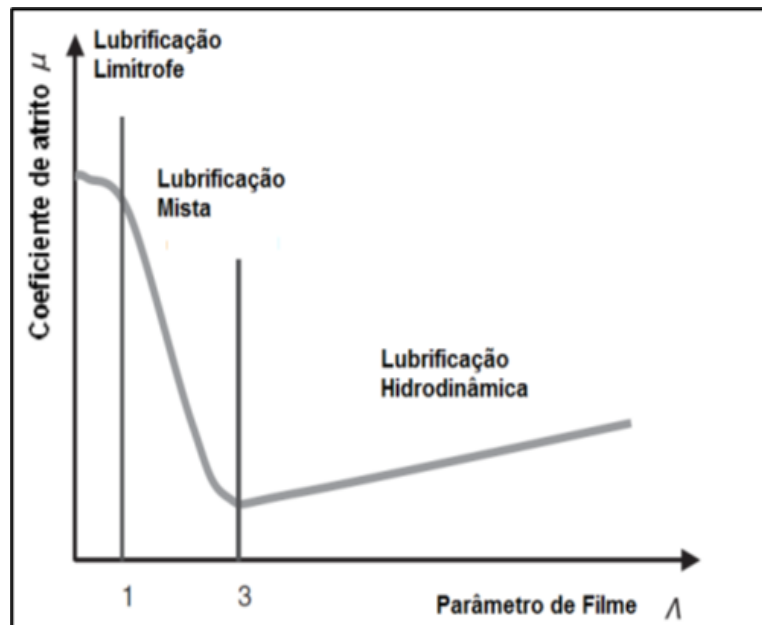
$$\Lambda = \frac{h}{\sqrt{R_{qA}^2 + R_{qB}^2}} \quad (1)$$

Onde:

- Λ Filme do Fluido [adimensional];
- h Espessura da película de lubrificante [m];
- R_{qA} Rugosidade da superfície A [mm];
- R_{qB} Rugosidade da superfície B [mm].

Os contatos das superfícies são classificados como limítrofe, misto ou lubrificado com filme completo, dependendo do grau de contato mecânico entre as superfícies sólidas.

Gráfico 2 - Coeficiente de atrito vs. parâmetro de filme e regimes de lubrificação



Fonte: Torbacke, Tudolphi e Kassfeldt, (2014)

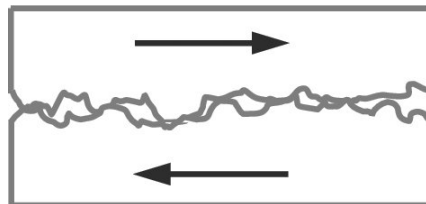
Conforme discutido na literatura especializada, o contato direto entre superfícies ocorre no regime denominado lubrificação limítrofe, o qual se caracteriza por um valor do parâmetro adimensional Λ , que representa a razão entre a espessura

do filme lubrificante e a rugosidade combinada das superfícies, inferior a 1. Nessas condições, a capacidade de sustentação de carga é predominantemente atribuída às superfícies sólidas em contato, enquanto o fluido lubrificante desempenha a função de reduzir o atrito e minimizar o contato metal-metal.

Nesse regime, o desempenho tribológico depende fortemente da presença e da eficácia dos aditivos incorporados ao lubrificante, os quais são responsáveis pela formação de filmes protetores de natureza química ou físico-química sobre as superfícies. Esses aditivos tornam-se essenciais para melhorar as propriedades de proteção contra desgaste, sobretudo em situações de operação severa. A lubrificação limítrofe é típica de condições caracterizadas por altas cargas e baixas velocidades relativas, nas quais a formação de um filme hidrodinâmico contínuo é limitada.

Componentes como eixos de baixa rotação operando em conjunto com buchas constituem exemplos clássicos de sistemas que funcionam predominantemente sob regime de lubrificação limítrofe, mesmo quando adequadamente lubrificadas, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5 - Lubrificação Limítrofe



Fonte: Torbacke, Tudolphi e Kassfeldt, (2014)

Há ainda a lubrificação mista, sendo que neste caso existem contatos de picos das rugosidades, uma vez que as superfícies não estão totalmente separadas. Este é um tipo de lubrificação menos eficaz do que a lubrificação de filme completo. A lubrificação mista resulta em uma mistura da lubrificação de contorno e uma lubrificação completa.

Esse tipo de lubrificação apresenta valores de λ entre 1 e 3; entretanto, o lubrificante contém aditivos antidesgaste que reduzem os efeitos do contato entre as superfícies. Desta forma a lubrificação de filme completo ocorre quando a espessura do filme de óleo é maior que a soma das rugosidades das superfícies em contato. No regime de lubrificação elastohidrodinâmica (EHD), a carga aplicada é muito elevada, provocando deformações elásticas nas superfícies — como ocorre nos

corpos rolantes de um rolamento. Duas variáveis são muito importantes neste sistema: a viscosidade do fluido lubrificante e a pressão. Isto visa proporcionar o giro dos corpos rolantes, evitando o seu deslizamento. As espessuras típicas do filme de lubrificante são aproximadamente de 1 a 100 μm . (Torbacke, Tudolphi e Kassfeldt, (2014); Guessasma e Machado (2018).

3.6 Propriedades comuns dos lubrificantes

De acordo com Torbacke, Tudolphi e Kassfeldt, (2014), as propriedades dos lubrificantes podem ser classificadas em três categorias principais: propriedades de desempenho, propriedades de longa vida e propriedades ambientais. As propriedades de desempenho do lubrificante são essenciais desde o momento de sua aplicação nas interfaces de contato entre componentes mecânicos com movimento relativo. Nesse contexto, tais propriedades asseguram a redução do atrito e o cumprimento eficaz da função de lubrificação nos contatos tribológicos. Entre as principais características que compõem o desempenho do lubrificante, destacam-se a viscosidade, as propriedades térmicas, o comportamento em baixas e altas temperaturas, bem como a sensibilidade a contaminantes provenientes do ar e da água.

As propriedades de longa vida, ou de longevidade, também exercem papel determinante na manutenção da funcionalidade dos componentes lubrificados e das superfícies em movimento relativo. Essas propriedades contribuem para o aumento da vida útil tanto do lubrificante quanto do sistema lubrificado, reduzindo, conseqüentemente, o risco de falhas prematuras e a necessidade de intervenções de manutenção. Entre os fatores associados à durabilidade do lubrificante, destacam-se a estabilidade à oxidação, a estabilidade hidrolítica e a capacidade de inibição da corrosão. Ademais, o armazenamento e o manuseio adequados constituem aspectos indispensáveis, pois garantem as condições necessárias para a preservação das propriedades físico-químicas do lubrificante, assegurando, assim, seu desempenho e longevidade em operação.

Por fim, as propriedades ambientais referem-se ao impacto do lubrificante sobre o meio ambiente, abrangendo aspectos como biodegradabilidade, toxicidade e potencial de bioacumulação. Nesse sentido, o desenvolvimento de lubrificantes ambientalmente adequados tem se tornado uma prioridade, visando à redução de

danos ecológicos e à promoção de práticas mais sustentáveis nos processos industriais e automotivos. Dessa forma, a formulação de lubrificantes modernos busca equilibrar o desempenho técnico e a durabilidade com a responsabilidade ambiental, atendendo às exigências de eficiência e sustentabilidade atualmente demandadas pela sociedade.

Conforme menciona Almeida (2017), é importante a análise das propriedades do óleo lubrificante, o seu estado físico, temperatura de operação e a carga de aditivação presente na composição química do fluido lubrificante. As características do fluido lubrificante devem estar em acordo com o tipo de aplicação para garantir assim o máximo aproveitamento do lubrificante no sistema mecânico. Uma das mais importantes características a serem estudadas do lubrificante é a viscosidade do fluido, pois deve ser compatível com o trabalho a ser realizado, bem como as cargas, interferências e rotações a que os componentes são submetidos.

Com o objetivo de atender as particularidades da indústria automotiva que necessita ter um óleo com uma película estável em condições de alta temperatura e movimento de trabalho intenso, foi desenvolvido o teste de viscosidade denominado *High Temperature High Shear* (HTHS), medido a uma temperatura de referência da ordem de 150 °C, normalizado pela ASTM D-4683.

Conforme Carreteiro e Belmiro (2006), o desempenho de um lubrificante é comprovado somente após a aplicação e análise do desempenho do fluido em teste de campo. O desempenho de um fluido está diretamente ligado à composição química do lubrificante, resultante da origem do petróleo bruto, do refino dos aditivos e do balanceamento da formulação.

A conformidade destes itens citados anteriormente confere ao lubrificante certas características físicas e químicas que permitem um controle da uniformidade e nível de qualidade. É importante ressaltar que as especificações não garantem o bom desempenho do fluido lubrificante, pois somente o teste de aplicação demonstra a performance dos lubrificantes. Os ensaios de laboratórios somente simulam condições de aplicação do lubrificante.

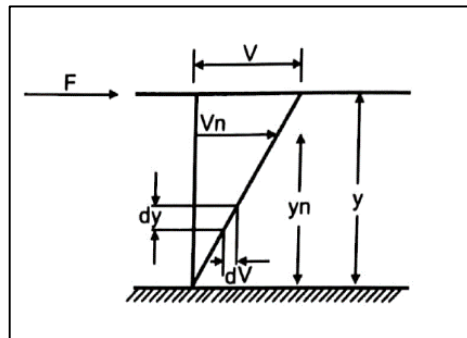
A Portaria 129/99 da Agência Nacional do Petróleo (1999) que determina o regulamento técnico ANP N_ 4/99, especifica as características dos fluidos e tipos de ensaios a serem realizados para os óleos básicos comercializados em todo o território nacional, sejam eles de origem nacional ou importados. Conforme a Portaria, a verificação das características dos óleos far-se-á mediante o emprego das Normas

Brasileiras Registradas (NBR), dos métodos da American Society for Testing and Materials (ASTM) e da Deutsches Institut für Normung (DIN). As principais características definidas no regulamento técnico N_ 4/99 são apresentadas em (Pereira, 2015).

Conforme Carreteiro e Belmiro (2006), a viscosidade é a característica mais importante do óleo e possui relevante importância na lubrificação hidrodinâmica, que está associada à resistência ao cisalhamento e ao escoamento dos fluidos.

Conforme Carreteiro e Belmiro (2006, p. 35), (Figura 6), entre duas placas paralelas separadas por uma distância y e sob a ação de uma força F atuando na placa superior móvel, que move na velocidade V , aparecerá uma tensão cisalhante entre as placas, e cuja variação de velocidade ocorrerá de zero, na placa inferior, até um valor V , na placa superior. A velocidade V possui variação nas camadas intermediárias e com velocidades V_1, V_2, V_n , de acordo com o valor de y_1, y_2, \dots, y_n .

Figura 6 - Lubrificação hidrodinâmica



Fonte: Carreteiro e Belmiro (2006).

Conforme Carreteiro e Belmiro (2006), o fluido Newtoniano é aquele que apresenta variações de deformação proporcionais às tensões de cisalhamento aplicadas e ao tempo de aplicação desta tensão. Considera-se dois tipos de viscosidades:

Viscosidade Absoluta (ou dinâmica):

A viscosidade absoluta de um líquido newtoniano é definida como a força tangencial exercida por unidade de área entre dois planos paralelos, separados por uma distância unitária, quando o espaço entre eles é preenchido pelo líquido e um

dos planos se move em relação ao outro com velocidade unitária. A viscosidade dinâmica (μ) é normalmente expressa em poise (P), cujas dimensões são grama por centímetro por segundo ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$). São também utilizadas as unidades: centipoise (cP) ou $\text{mPa}\cdot\text{s}$ (milipascal-segundo), onde $1 \text{ cP} = 1 \text{ mPa}\cdot\text{s} = 0,01 \text{ P}$. No Sistema Internacional (SI), a unidade empregada é o pascal-segundo ($\text{Pa}\cdot\text{s}$) ou newton-segundo por metro quadrado ($\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$), correspondendo a 10 P.

Viscosidade Cinemática

A viscosidade cinemática (ν) é determinada pela razão entre a viscosidade dinâmica (η) e a densidade (ρ) do fluido, conforme a equação 2:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (2)$$

onde:

- ν = viscosidade cinemática (em m^2/s no Sistema Internacional ou em centistokes, cSt, para lubrificantes);
- η = viscosidade dinâmica (em $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ou centipoise, cP);
- ρ = densidade do fluido (em kg/m^3 ou g/cm^3).

Para óleos lubrificantes, é usual expressar a viscosidade cinemática em **cSt (mm^2/s)**, sendo a relação prática apresentado na equação 3:

$$1 \text{ cSt} = \frac{1 \text{ cP}}{1 \text{ g}/\text{cm}^3} \quad (3)$$

Dessa forma, a determinação da viscosidade cinemática permite avaliar o comportamento do lubrificante frente às condições de operação do motor.

Carreteiro e Belmiro (2006) apresentaram os quatro sistemas de medição de viscosidade de óleo mais utilizados, sendo que a maioria das medições são realizadas pelos seguintes sistemas:

- a) **Viscosímetro Saybolt:** Realiza a medição da viscosidade através do viscosímetro Saybolt (ASTMD-88). A viscosidade é indicada pelo tempo, em segundos, necessário para que 60 cm^3 de óleo escorram completamente por

um orifício de 1,765 mm de diâmetro, sob ação da gravidade a uma determinada temperatura;

- b) **Viscosímetro Redwood:** Este viscosímetro diferencia-se do viscosímetro de Saybolt pelo volume medido no frasco, que é de 50 cm³.
- c) **Viscosímetro Engler:** O princípio é o mesmo, porém o volume medido é 200 cm³ e o tempo que leva para escorrer, em segundos, é convertido em graus Engler, dividindo-se seu valor pelo tempo gasto para escoar em igual volume de água nas mesmas condições;
- d) **Viscosímetro Ostwald:** É um equipamento que mede a viscosidade cinemática. É construído através de um sistema de tubos de vidro, bulbos e um tubo capilar.

Conforme apresentado por Pereira (2015), a viscosidade de um fluido lubrificante, seja de origem mineral ou sintética, varia com a temperatura. Esses valores também são influenciados pela composição do lubrificante. Os fabricantes de lubrificantes buscam formular produtos com óleos básicos que proporcionem uma boa relação viscosidade-temperatura (VT), garantindo desempenho estável em diferentes condições de operação. Principalmente nos lubrificantes da linha automotiva, onde há grande variação de temperatura, é essencial que o fluido mantenha uma viscosidade adequada para garantir uma lubrificação eficaz. O conhecimento da relação viscosidade-temperatura (VT) é fundamental para determinar a faixa de operação dos lubrificantes, aspecto decisivo na seleção e aplicação do fluido.

A relação VT de um fluido pode ser determinada por meio do Índice de Viscosidade (IV), da Constante de Viscosidade-Temperatura (CVT) ou dos gráficos ASTM (ASTM D341), sendo o IV o método mais comumente utilizado para essa avaliação. De acordo com Pereira (2015), a variação da viscosidade em função da temperatura é denominada de Índice de Viscosidade (IV), Equação (3). Quanto maior o índice de um óleo, menor será a variação da viscosidade em função da temperatura. Os óleos de base sintética apresentam índice melhor do que os óleos minerais. De acordo com Carreteiro e Belmiro (2006) o IV -Índice de Viscosidade é a forma mais comum para expressar a variação da viscosidade em uma escala empírica (Gráfico 3).

Este índice foi padronizado utilizando duas séries de óleos: uma obtida de um óleo cru da Pensilvânia que foi arbitrariamente considerado como de índice de viscosidade (IV) = 100 e outra proveniente de um óleo cru da Costa do Golfo do México, a qual foi arbitrado IV = 0.

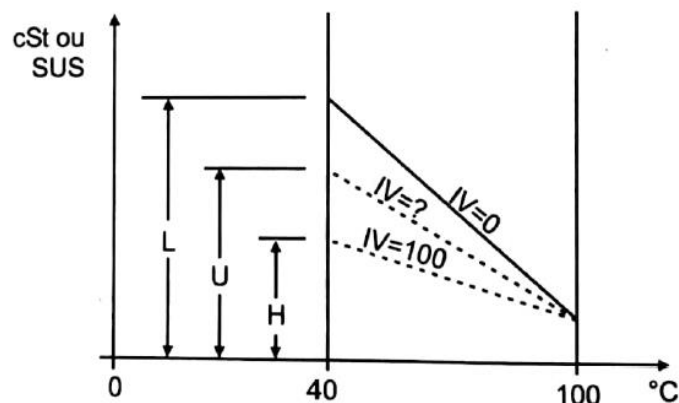
O Índice de viscosidade (IV) um fluido lubrificante de uma viscosidade a 100°C é calculado partindo-se de sua viscosidade a 40°C e das viscosidades a 40°C dos padrões, tendo uma viscosidade a 100°C igual à do óleo cujo IV quer se determinar (Equação 4):

$$IV = \frac{L - U}{L - H} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

- IV* Índice de Viscosidade valor [adimensional];
- L* Viscosidade a 40°C de um óleo de índice de viscosidade 0, tendo a mesma viscosidade a 100°C do óleo em estudo [cSt];
- H* Viscosidade a 40°C de um óleo de índice de viscosidade 100, tendo a mesma viscosidade a 100°C do óleo em estudo [cSt];
- U* Viscosidade a 40°C do óleo em estudo [cSt].

Gráfico 3 - Índice de Viscosidade



Fonte: Carretero e Belmiro. (2006)

O índice de viscosidade (IV) é uma característica utilizada para identificar a natureza dos óleos minerais puros e desta forma verificar qual tipo de óleo base será utilizado para determinado tipo de trabalho, conforme o quadro 4.

Quadro 4 - Apresenta as faixas do Índice de viscosidade (IV).

Abaixo de 0	Óleos de processamento de borracha com componentes aromáticos e naftênicos.
Entre 0 e 40	Baixo IV - Óleos minerais de base naftênica preponderante.
Entre 40 e 80	Médio IV - Óleos de base mista ou de base naftênica que tenham recebido tratamento.
Entre 80 e 120	Alto IV - Óleos de base preponderantemente parafínicos.
Acima de 120	Muito Alto IV - Óleos hidro tratados ou de base sintética.

Fonte: Carreteiro e Belmiro (2006)

O ponto de fluidez é definido como sendo aquele no qual o óleo flui na mais baixa temperatura de operação (Torbacke, Rudolphi; Kassfeldt; 2014). O estudo desta propriedade é principalmente importante em regiões de temperaturas muito baixas no inverno. Esta característica determina a temperatura na qual o óleo é bombeável. O ponto de fulgor é definido como o valor da temperatura na qual os gases desprendidos pelo óleo, em presença de ar, inflamam-se momentaneamente ao ser aplicada uma chama, formando um lampejo (flash) (Carreteiro; Belmiro, 2006). O método mais utilizado para determinar este ponto é o vaso aberto de Cleveland (norma ASTM D-92-52). Esta informação permite determinar as temperaturas de serviços em que um óleo lubrificante pode ser operado com segurança. É importante destacar que o ponto de combustão é de 22 a 28°C acima do ponto de fulgor. Também foi visto que o ponto de combustão é a temperatura mais baixa para o desprendimento dos primeiros vapores ou gases comburentes que, em presença do oxigênio e de uma centelha, se inflamam continuamente, mesmo sem a continuidade da centelha. Este ensaio também pode ser usado para análise das condições dos óleos usados, através da comparação do percentual de resíduo encontrado no óleo novo com o óleo velho, refletindo assim as contaminações do fluido lubrificante com os resíduos da queima de combustível oriundos do processo de combustão.

De acordo com Carreteiro e Belmiro (2006), os fluidos lubrificantes apresentam variação de cor, de transparentes (incolores) até pretos (opacos). Para verificar a cor dos fluidos lubrificantes, utiliza-se o calorímetro. O mais utilizado em óleos lubrificantes é o Union, obedecendo as recomendações da norma ASTM - D-155.

Conforme Carreiro e Belmiro (2006), a quantidade de cinzas é o resultado da combustão do óleo, indicando o quantitativo de matéria inorgânica presente. Também permite avaliar a parte mineral dos aditivos o grau de detergência dos óleos automotivos e contaminantes, também indica o volume de materiais estranhos existentes no óleo lubrificante conforme a norma ASTM D-91-52, bem como o grau de refinação do produto, o conteúdo de partículas sólidas em suspensão e a contaminação com matérias estranhas.

Segundo Pereira (2015), o Número Base Total (Total Base Number – TBN) é um parâmetro utilizado para quantificar a concentração de compostos de caráter básico presentes no fluido lubrificante, estando diretamente associado à sua capacidade de neutralização de espécies ácidas formadas durante a operação do motor. Esse índice é expresso em miligramas de hidróxido de potássio por grama de lubrificante (mg KOH/g) e constitui um importante indicativo da vida útil do óleo. Valores elevados de TBN estão geralmente relacionados a um bom estado de conservação do lubrificante (Torbacke; Rudolphi; Kassfeldt, 2014).

A formulação dos lubrificantes inclui a adição de aditivos de natureza básica, como detergentes e dispersantes, cuja função principal é neutralizar os ácidos gerados por processos de combustão, oxidação e contaminação do óleo. A presença desses aditivos contribui para a manutenção de níveis adequados de TBN ao longo do tempo de uso. A redução gradual desse índice indica o consumo progressivo da reserva alcalina do lubrificante, processo que, em geral, ocorre de forma concomitante à intensificação da oxidação e, em determinadas condições, ao aumento da viscosidade do fluido.

Um outro indicador importante é o do número de acidez do óleo lubrificante, chamado de TAN. Conforme (Torbacke, Rudolphi; Kassfeldt; 2014) os lubrificantes novos podem possuir uma certa quantidade de ácidos inorgânicos, ésteres ou alguns aditivos ácidos com valores de referência baixos. O aumento do número de acidez indica um envelhecimento do lubrificante.

Segundo Pereira (2015), a **corrosividade** do fluido lubrificante refere-se à sua capacidade de promover processos corrosivos em superfícies metálicas durante a operação. Essa propriedade é comumente avaliada por meio do ensaio padronizado **ASTM D130**, no qual uma lâmina de cobre previamente polida é imersa em uma amostra do lubrificante, acondicionada em um tubo de ensaio quimicamente limpo, permitindo a posterior análise do grau de ataque corrosivo provocado pelo fluido.

De acordo com Torbacke, Rudolphi e Kassfeldt (2014), a corrosão resulta na remoção progressiva de material da superfície metálica, comprometendo a capacidade de sustentação de carga no contato tribológico. Esse fenômeno contribui para a redução da vida útil tanto dos componentes mecânicos quanto do próprio lubrificante, podendo manifestar-se sob diferentes formas, como corrosão do aço, de metais amarelos e de metais macios, a exemplo do chumbo.

A **estabilidade à oxidação** do óleo lubrificante, conforme descrito por Pereira (2015), corresponde à resistência do fluido aos processos oxidativos durante períodos prolongados de estocagem ou sob condições dinâmicas de operação. Essa propriedade é avaliada de acordo com a norma **ASTM D943**, sendo os resultados expressos em termos de índice de acidez total (mg KOH/g). Para lubrificantes novos, a estabilidade oxidativa é considerada uma característica intrínseca da formulação e, de modo geral, pouco dependente da composição inicial do óleo base (Torbacke; Rudolphi; Kassfeldt, 2014).

O envelhecimento oxidativo do lubrificante é favorecido pela exposição simultânea ao oxigênio, à presença de metais catalisadores e a temperaturas elevadas, sendo fortemente influenciado pelo regime térmico de operação. Esse comportamento segue a relação descrita pela equação de Arrhenius, apresentada na **Equação 5**, na qual o aumento da temperatura resulta na aceleração das reações oxidativas.

$$K = const . e^{-E_A / RT} \quad (5)$$

Onde:

K Constante de taxa de reação química [adimensional];

E_A Energia de ativação necessária para que uma reação química ocorra [J/mol];

T Temperatura T [K];

R Constante do Gás [J/mol].

É importante ressaltar que a taxa de oxidação é dobrada a cada 10°C e começa a se tornar significativa acima de 60° C. Uma forma de amenizar os efeitos da oxidação é reduzir a temperatura do sistema e remover o material oriundo do desgaste, visto que o contato com o ar é muito difícil de se eliminar.

Conforme Torbacke, Rudolphi; Kassfeldt; (2014), a volatilidade define a tendência do lubrificante vaporizar-se quando aquecido. Esta condição depende de

sua temperatura e pressão de vapor. Um fluido lubrificante com alta pressão e temperatura de vapor terá parte do seu volume mudando de estado e a vaporização será mais fácil, quando comparado com uma baixa pressão de vapor, independente da temperatura. A maior parte dos óleos base de baixa viscosidade são mais voláteis do que os óleos de alta viscosidade.

Ainda de acordo com Torbacke, Rudolphi; Kassfeldt; (2014), demissibilidade é a capacidade do fluido lubrificante de separar-se da água. A forma que o óleo separa da água é denominada taxa de separação, e depende da combinação de fluidos básicos e aditivos. Com relação a fluidos lubrificantes é muito importante ter uma boa demissibilidade, porque o arrasto de água pode causar corrosão, problemas de filtro e desgaste.

3.7 Aditivos

Conforme descrito por Melo (2015) e por Torbacke, Rudolphi e Kassfeldt (2014), os aditivos para óleos lubrificantes consistem em substâncias químicas incorporadas às formulações com a finalidade de aprimorar propriedades específicas do fluido ou de mitigar características consideradas indesejáveis durante sua aplicação.

De modo geral, esses aditivos podem ser agrupados em duas categorias principais: aqueles destinados à modificação das propriedades físicas do óleo e aqueles que promovem alterações em sua natureza química.

O fluido lubrificante, por sua vez, apresenta a capacidade de formar uma película contínua entre superfícies em movimento relativo, assegurando sua separação por meio da resistência à compressão, característica essencial para a redução do atrito e do desgaste.

A incorporação de aditivos ao lubrificante contribui para a melhoria de parâmetros como índice de viscosidade, ponto de fluidez e estabilidade térmica, além de favorecer a redução do atrito, a mitigação do desgaste e o prolongamento da vida útil do fluido. Entre os principais aditivos utilizados destacam-se, inicialmente, os abaixadores de ponto de fluidez, cuja função é garantir a adequada mobilidade do óleo em baixas temperaturas. Esses compostos atuam impedindo a formação de cristais que poderiam restringir o escoamento do fluido, assegurando seu desempenho mesmo sob condições severas de frio.

Outro grupo relevante é o dos melhoradores do índice de viscosidade (IV), constituídos por polímeros que reduzem a variação da viscosidade do óleo em função da temperatura. Quanto maior o índice de viscosidade, maior é a capacidade do lubrificante de manter suas características reológicas frente às variações térmicas, evitando o espessamento excessivo em baixas temperaturas e a perda de viscosidade em condições de aquecimento.

No que se refere à degradação oxidativa, destacam-se os aditivos antioxidantes, cuja atuação é fundamental em ambientes caracterizados pela presença de oxigênio, metais catalisadores e temperaturas elevadas. Esses aditivos aumentam a resistência do óleo à oxidação, retardando reações com o oxigênio, inibindo a formação de compostos ácidos e depósitos carbonáceos, além de reduzir o aumento indesejado da viscosidade. Dessa forma, contribuem diretamente para a ampliação da vida útil do lubrificante e para o prolongamento dos intervalos de troca.

Os aditivos detergentes e dispersantes desempenham papel essencial na limpeza e na manutenção das superfícies metálicas. Enquanto os detergentes atuam removendo depósitos aderidos às superfícies, os dispersantes mantêm as partículas geradas em suspensão no fluido, evitando sua aglomeração. Parte dessas impurezas é retida pelo sistema de filtragem, enquanto o restante é removido durante a substituição do óleo, contribuindo para a preservação do desempenho do sistema de lubrificação.

Em condições de operação caracterizadas por elevadas cargas e pressões de contato, torna-se necessário reforçar a proteção das superfícies em movimento relativo, prevenindo o rompimento da película lubrificante. Nesse contexto, empregam-se os aditivos de extrema pressão (EP), que atuam predominantemente no regime de lubrificação limítrofe, quando o filme de óleo não é suficiente para separar completamente as superfícies. Esses aditivos podem ser classificados em dois tipos: os de ação física, nos quais predomina o efeito mecânico, e os de ação química, que reagem com as superfícies metálicas formando uma camada protetora com características de lubrificante sólido.

Complementarmente, os agentes antidesgaste foram desenvolvidos para intensificar a proteção contra o desgaste em condições menos severas do que aquelas típicas da extrema pressão. Esses compostos apresentam mecanismo de atuação semelhante ao dos aditivos EP, porém com ação mais moderada. Um exemplo amplamente utilizado é o dialquilditiofosfato de zinco (ZDDP), que atua na

formação de filmes protetores nas superfícies metálicas, reduzindo o desgaste e contribuindo para a melhoria do desempenho tribológico do fluido lubrificante.

Pereira (2015), Carreteiro e Belmiro (2006) e Torbacke, Rudolphi; Kassfeldt; (2014) apresentam também os modificadores de atrito, que são importantes compostos com a função de reduzir a energia necessária para que as partes móveis possam realizar o movimento relativo.

A película de fluido às vezes se rompe com o movimento relativo, mas logo se recompõe automaticamente. Comumente estes aditivos são utilizados em fluidos lubrificantes e transmissões automáticas. Com relação ao ataque ácido, os autores citados também informam que para impedir o ataque resultante da oxidação do óleo, desenvolveram-se os aditivos anticorrosivos que neutralizam o ataque e protegem as partes metálicas lubrificadas.

Esta proteção é obtida através da formação de uma película que protege as partes metálicas dos ácidos, da água e da umidade. Quando há uma necessidade de arrefecimento, usa-se uma emulsão de água e óleo, sendo necessário assim os agentes emulsificantes.

Os óleos lubrificantes, quando submetidos à agitação ou quando apresentam contaminação, tendem à formação de espuma devido à incorporação de ar na matriz líquida. Para mitigar esse fenômeno indesejável, desenvolveram-se os aditivos antiespumantes, cuja função principal é reduzir a tensão interfacial e promover a rápida dissipação das bolhas formadas. Entre os compostos mais empregados destaca-se o silicone, que contribui para a estabilidade operacional e para a adequada lubrificação do conjunto motor, favorecendo condições mais adequadas no cárter.

Além disso, para assegurar a aderência do óleo às superfícies metálicas, sobretudo em situações de elevada vibração ou choques mecânicos, utilizam-se agentes de adesividade. Esses aditivos são fundamentais em aplicações nas quais se busca minimizar respingos e garantir a manutenção do filme lubrificante, preservando a integridade e o desempenho dos componentes em operação.

A tabela 1 mostra os aditivos utilizado e a dosagem dos aditivos, da mesma forma (Carreteiro; Belmiro, 2006) analisaram em seus experimentos.

Tabela 1 - Aditivos utilizados em óleos automotivos

Aditivos Usados em Óleos Automotivos	
Espécie	Dosagem (%)
Detergentes	2 - 10
Antioxidantes e inibidores de corrosão	0,4 - 2
Melhorador do índice de viscosidade	0,5 - 10
Redutores do ponto de fluidez	0,1 - 1
Agentes EP	5 - 10
Antiespumantes	0.0002 - 0,08
Antiferrugem	0,1 - 1
Agente controlador do odor	0,001 - 0,005
Agente de oleosidade	0,1

Fonte: Carreteiro e Belmiro (2006).

3.8 Análise físico-química do óleo

Conforme Kardec e Nascif (2013), a análise da condição do lubrificante é um método de monitoração bastante utilizado. As duas técnicas mais difundidas são a análise do óleo lubrificante em laboratório para verificação das suas características físico-químicas e a técnica de análise das partículas contidas no óleo, oriundas de desgaste. Evidentemente, nos dois métodos estão incluídos os contaminantes que, dependendo das características e da quantidade, determinam a inviabilidade de utilização do lubrificante. A análise físico-química do óleo é uma ferramenta que nos permite analisar a condição do óleo e assim identificar o momento ideal para a troca ou correção do fluido, através de avaliações laboratoriais.

Também é possível detectar os desgastes das peças móveis dos componentes das máquinas e equipamentos, bem como a presença das substâncias contaminantes. Dentro da análise físico-química, um conjunto de ensaios é realizado visando à identificação das características e propriedades do óleos lubrificantes. O primeiro deles é a análise de umidade em óleo Lubrificante, que tem por objetivos determinar a quantidade de água presente no óleo. Esta análise pode ser realizada utilizando o

método Karl Fischer (ASTM D95). A espectrográfica permite encontrar vários contaminantes do óleo lubrificante. Por este motivo, as variações encontradas na absorção de luz infravermelha permitem avaliar o grau de contaminação por diferentes agentes.

Outro teste de grande relevância é o de contagem de partículas, sendo utilizado para avaliar a pureza do óleo. Neste caso, utiliza-se as normas padrões ISO 4406 e NAS 1638. A classificação da contaminação por partículas sólidas em fluidos hidráulicos e de lubrificação é efetuada conforme a norma ISO 4406/1999. A norma ASTM D6304-16 abrange a análise indireta de água termicamente removida de amostras e varrida com gás inerte seco para a célula de titulação Karl Fischer. Este método determina a presença de água em aditivos, óleos lubrificantes, óleos básicos, fluidos de transmissão, solventes de hidrocarbonetos e outros produtos.

Outra análise muito importante é a diluição por combustível (Cromatografia gasosa). De acordo com Euceman *et al.* (1994) e Zanatta, Teixeira e Viscardi (2011), a separação por cromatografia a gás se baseia na distribuição das substâncias da amostra entre uma fase estacionária (sólida ou líquida) e uma fase móvel gasosa.

A cromatografia a gás é uma técnica com um poder de resolução excelente, o que torna possível a análise de dezenas ou até mesmo centenas de componentes de uma amostra. Também é uma técnica associada a limites de detecção baixos que permite a utilização de pequenas quantidades de amostras de concentração na ordem de pictogramas por mililitros ou ainda menores.

De acordo com Santos Junior (2011), a determinação do teor de cinzas em óleos lubrificantes é realizada com base nos procedimentos estabelecidos pela norma ASTM D482. Esse ensaio permite quantificar a fração de resíduos inorgânicos remanescentes após a queima da amostra, expressa como a porcentagem em massa das cinzas em relação à massa inicial do óleo analisado. A presença dessas cinzas está associada, principalmente, a compostos metálicos provenientes de aditivos, contaminantes solúveis em água, bem como à introdução de partículas externas, como poeira, óxidos metálicos e produtos de corrosão.

Ainda segundo Santos Junior (2011), a avaliação do resíduo de carbono constitui um parâmetro relevante para estimar a propensão do lubrificante à formação de depósitos carbonáceos quando exposto a condições de elevadas temperaturas. Esse ensaio é aplicado, sobretudo, à análise de óleos em serviço, sendo que o aumento do teor de resíduo carbonoso em relação ao óleo novo indica não apenas a

degradação térmica do lubrificante, mas também a influência de contaminantes oriundos do processo de combustão do combustível e de reações associadas à nitração durante a operação do motor.

De acordo com a norma ASTM E2412, a nitração resulta da reação entre os elementos químicos que compõem o óleo e os óxidos de nitrogênio. O produto dessa reação é extremamente ácido, favorecendo a formação de depósitos e acelerando a oxidação do óleo lubrificante, o que leva ao aumento do desgaste dos cilindros e do comando de válvulas. Dessa forma, quando o número de nitração é controlado, é possível conhecer o estado do óleo em relação à acidez e à oxidação.

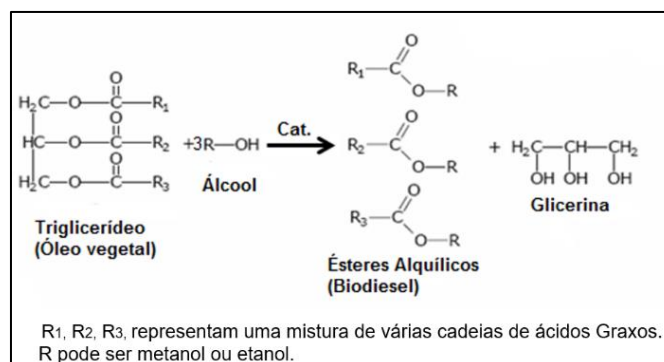
De acordo com Santos Junior (2011), a sulfatação (norma ASTM E2412) é a combinação de vários óxidos de enxofre e água que entram em reação e produzem a formação de ácidos, como o ácido sulfúrico. Motores à Diesel apresentam esse problema muitas vezes pela presença de enxofre no combustível.

3.9 Biodiesel

De acordo com a Portaria n.º 255 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2003), o biodiesel é definido como um combustível composto por mono alquil ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, obtidos a partir de óleos vegetais ou gorduras animais, e comercialmente designado como B100.

A produção do biodiesel é, em sua maioria, realizada por meio do processo de transesterificação, uma reação química que envolve a substituição do grupo alquila de um éster por um álcool, geralmente metanol ou etanol, na presença de um catalisador. Esse processo resulta na formação do biodiesel e de um subproduto, a glicerina, conforme representado na Figura 7.

Figura 7 - Reação de transesterificação do biodiesel

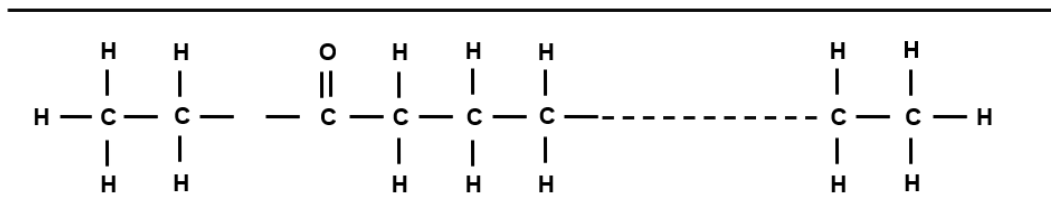


Fonte: Pereira (2015)

Um dos itens de grande relevância na avaliação do biodiesel é a oxidação, em função da interferência na qualidade do combustível. A fragilidade do biodiesel à oxidação está relacionada à presença das duplas ligações nas cadeias dos ácidos graxos e, em função do número e da posição das duplas ligações, a oxidação atua com velocidades diferenciadas (Valente, 2016).

De acordo com Brunetti (2018), um biodiesel de melhor qualidade é produzido através da alteração da estrutura química do óleo vegetal. A alta viscosidade dos óleos vegetais, que também são ésteres, está intimamente relacionada com a presença do glicerol em sua molécula e a alta massa específica ao tamanho dessa molécula (com aproximadamente 50 átomos de carbono), conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Molécula de um biodiesel (éster) etílico



Fonte: Brunetti (2018).

Segundo Pereira (2015), óleos de origem vegetal e gorduras animais vêm sendo investigados como alternativas energéticas para motores do ciclo Diesel desde períodos anteriores à década de 1970. No entanto, conforme destacado por Knothe et al. (2006), os motores Diesel contemporâneos apresentam requisitos operacionais mais restritivos, especialmente no que se refere às propriedades reológicas dos combustíveis, exigindo viscosidades significativamente inferiores àquelas normalmente apresentadas por óleos vegetais in natura.

Nesse contexto, Pereira (2015) sistematizou os principais problemas operacionais observados em motores Diesel alimentados diretamente com óleos vegetais e gorduras animais, relacionando-os às limitações técnicas associadas ao uso desses combustíveis sem prévio processamento. Tais aspectos foram organizados de forma sintética no Quadro 5, servindo como base para a compreensão das restrições e desafios envolvidos na aplicação desses combustíveis em motores de ignição por compressão.

Quadro 5 - Resumo dos problemas operacionais devido uso de óleos vegetais

Problema	Provável causa Curto prazo	Possível solução
1: Dificuldade de Partida a frio	Alta viscosidade, baixo número de cetano, e alto ponto de fulgor dos óleos vegetais.	Preaquecer o combustível antes da injeção. Alterar quimicamente o combustível para um éster (biodie-sel).
2: Gomas e entupimento de filtros, linhas e injetores.	Gomas naturais (fosfatídeos) em óleos vegetais. Outras cinzas.	Refinar parcialmente o óleo para remover as gomas. Filtrar o óleo com 4 μm .
3: O motor batendo (batida diesel).	Número de cetano de alguns óleos muito baixo. Tempo de injeção inadequado.	Ajuste do tempo de injeção. Usar maior relação de compressão no motor. Mesmo que (1).
4: Carbonização dos bicos injetores.	Alta viscosidade de óleo vegetal, incompleta combustão. Combustão pobre para cargas parciais.	Preaquecer o combustível antes da injeção. Trocar o combustível do motor para diesel, quando operado em cargas parciais. Alterar quimicamente o combustível para um éster (biodiesel).
5: Depósitos de carbono no pistão e cabeçote do motor	Mesmo que (4).	Mesmo que (4).
6: O desgaste excessivo do motor	Mesmo que (4). Possibilidade de ácidos graxos livres no óleo vegetal. Diluição do óleo lubrificante do motor, devido a contaminação pelo óleo vegetal.	Mesmo que (4). Aumentar a frequência das trocas do óleo lubrificante. Utilizar aditivos ao óleo de motor para inibir a oxidação (anti-oxidantes).
7: Falha do óleo lubrificante do motor devido à polimerização.	Aglomerção de óleos vegetais poli-insaturados no cárter, ponto onde polimerização ocorre.	Mesmo que (4) e (6). Usar óleos vegetais com baixos ácidos graxos poli-insaturados.

Fonte: Pereira (2015).

Pereira (2015) verificou ainda que a elevada viscosidade dos óleos vegetais utilizados em sua forma pura compromete o processo de atomização do combustível, resultando em um aumento da penetração do jato durante a injeção. Essa maior penetração está associada à formação de depósitos nos componentes internos do motor, além de contribuir para o espessamento do combustível, fatores que afetam negativamente o desempenho e a durabilidade do sistema de combustão.

Com o objetivo de minimizar esses efeitos e viabilizar a aplicação de óleos vegetais em motores do ciclo Diesel, o autor descreveu quatro abordagens tradicionalmente empregadas para a redução da viscosidade desses combustíveis: (I) a diluição por meio de misturas binárias com o óleo diesel de origem fóssil; (II) a pirólise, processo térmico que promove a quebra das cadeias moleculares; (III) a formulação de microemulsões ou misturas com co-solventes, utilizando álcoois de baixo peso molecular; e (IV) a conversão química dos óleos em biodiesel por meio da reação de transesterificação.

Entretanto, para assegurar o adequado funcionamento dos motores e a compatibilidade com os sistemas de injeção e combustão, as propriedades físico-químicas do biodiesel devem atender a requisitos técnicos estabelecidos por normas e legislações específicas. No contexto brasileiro, a especificação do biodiesel é regulamentada pela Resolução nº 45 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2014), cujos parâmetros estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Especificação do Biodiesel

Característica	Unidade	Limite
Aspecto	-	Límpido e isento de impurezas (LII) ^a
Massa específica a 20°C	<i>kg/m³</i>	850 a 900
Viscosidade Cinemática a 40°C	<i>N.s/m²</i>	3,0 a 6,0
Teor de água, máx.	<i>mg/kg</i>	200,0
Contaminação Total, máx.	<i>mg/kg</i>	24
Ponto de fulgor, mín.	°C	100
Teor de éster, min.	%, massa	96,5
Cinzas sulfatadas, máx.	%, massa	0,020
Enxofre total, máx.	<i>mg/kg</i>	10
Sódio + Potássio, máx.	<i>mg/kg</i>	5
Fósforo, máx.	<i>mg/kg</i>	10
Corrosividade ao cobre, 3h a 50°C, máx. ^a		1
Número de cetano	-	51
Ponto de entupimento de filtro a frio, máx.	°C	b
Índice de acidez, máx. mg	mg KOH/g	0,80
Glicerol livre, máx.	%, massa	0,02
Glicerol total, máx.	%, massa	0,25
Monoacilglicerol, máx.	%, massa	0,7
Diacilglicerol, máx.	%, massa	0,20
Triacilglicerol, máx.	%, massa	0,20
Metanol e/ou Etanol, máx.	%, massa	0,20
Índice de Iodo	<i>g/100g</i>	-
Estabilidade à oxidação a 100°C, mín.	H	6

Fonte: Adaptado de Pereira (2015).

Conforme observado por Brunetti (2018), normalmente poucas modificações são necessárias no motor para a utilização do biodiesel como combustível. O menor poder calorífico é compensado pela maior massa específica. Isso permite que em um

mesmo volume dosado pelo sistema de injeção do motor esteja associada uma maior massa de combustível e, assim, recuperam-se parcialmente os valores de energia disponibilizada por injeção. A utilização do biodiesel como combustível em motores a combustão interna apresenta vantagens, mas há algumas precauções quanto ao seu uso conforme apresentado no Quadro 6.

Quadro 6 - Vantagens e precauções na utilização do biodiesel

Vantagens	Precauções do uso
São perfeitamente miscíveis ao óleo diesel.	Alguns tipos de tintas são "atacados" por biodiesel.
Os números de Cetano dos ésteres de óleos vegetais são, em geral, mais elevados que os do óleo diesel comercial.	Alguns elastômeros (borrachas e plásticos) não têm afinidade química com o biodiesel.
Trata-se de um composto oxigenado (-11% em peso) que, portanto, potencializa a redução da produção de CO e de material particulado no escapamento, promovendo facilidades para o uso de catalisadores.	É comum observar a formação de depósitos na região da válvula de admissão.
Os teores de enxofre e de aromáticos praticamente nulos tornam os ésteres muito indicados aos desenvolvimentos recentes de sistemas de pós-tratamento dos gases de escapamento.	O óleo lubrificante diluído com biodiesel (temperaturas de ebulição de aproximadamente 360 °C) tem suas capacidades dispersantes e detergentes reduzidas. Pode ocorrer a separação do óleo lubrificante e do material até então solubilizado, gerando a denominada "quebra do óleo" que promove o rápido entupimento do circuito de lubrificação e conseqüente micro soldagem de materiais metálicos em contato. A evaporação do óleo diesel ocorre, na sua quase totalidade, entre 180 °C e 360 °C.
As lubrificâncias características dos biodieseis são, invariavelmente, mais elevadas que as do óleo diesel, reduzindo desgastes nos componentes de sistemas de injeção.	O ponto de entupimento (temperatura) é mais alto que o do óleo diesel.
O ponto de fulgor é mais elevado que o do óleo diesel, o que lhe atribui a condição de combustível seguro.	Alguns tipos são altamente higroscópicos (ex.: biodiesel de mamona).

	O biodiesel se oxida e degrada rapidamente. Isto é bom do ponto de vista ambiental, mas dificulta seu armazenamento. É necessário o uso de aditivos antioxidantes como, por exemplo, a hidroquinona.
	O processo de transesterificação produz grandes quantidades de glicerina (-10% da massa do biodiesel produzido).

Fonte: Adaptado de Brunetti (2018).

Brunetti (2018) realizou um estudo de observação do comportamento dos poluentes em função da utilização do biodiesel e verificou uma redução das emissões de CO e HC e um leve aumento de NO_x em razão de alteração do ponto de injeção.

Os principais resultados relativos às emissões são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados obtidos em ensaios de motores

Emissões específicas (g/HP.h)	Óleo diesel (500 ppm de S)	Éster metílico de soja	Ester metílico de colza
No _x	4,840	5,787	5,614
HC	0,437	0,116	0,093
CO	1,507	0,873	0,811
MP	0,227	0,152	0,164
CO ₂	758,1	791,3	775,55

Fonte: Brunetti (2018).

Ao analisar as propriedades do biodiesel relevantes para sua aplicação como combustível em motores do ciclo Diesel, com ênfase na lubricidade, Pereira (2015) destacou a necessidade de que o combustível apresente características adequadas de lubrificação, de modo a garantir a proteção dos componentes do sistema de injeção. O autor verificou que a adição de apenas 2% de biodiesel ao óleo diesel convencional foi suficiente para promover um aumento significativo da lubricidade, apresentando valor aproximadamente duplicando a taxa observada para o combustível fóssil puro.

Outro aspecto relevante associado ao uso do biodiesel refere-se à redução das emissões de fumaça e de material particulado, característica atribuída, principalmente, à presença de oxigênio em sua estrutura molecular. Entretanto, observou-se que as

propriedades físico-químicas do biodiesel influenciam diretamente o processo de combustão, especialmente no que se refere ao atraso de ignição. Em determinadas condições operacionais, esse efeito pode exigir ajustes no sistema de injeção, como o avanço do ponto de injeção, a fim de compensar o início tardio da combustão.

No que diz respeito ao poder calorífico, o biodiesel apresenta uma limitação quando comparado ao óleo diesel mineral, uma vez que seu conteúdo energético é inferior em aproximadamente 12,5%. Especificamente, o biodiesel de soja possui poder calorífico inferior da ordem de 37,2 MJ/kg, enquanto o diesel apresenta valores médios de 42,6 MJ/kg. Dessa forma, para uma mesma injeção volumétrica de combustível, observa-se uma redução de potência em torno de 8,4%. De maneira geral, estudos indicam que a utilização de biodiesel resulta, em média, em perdas da ordem de 5% em potência, torque e eficiência térmica quando comparado ao desempenho obtido com o diesel convencional.

Van Gerpen *et al.* (1997) e Pereira (2015) também apontaram a oxidação como um dos principais mecanismos de degradação e contaminação do biodiesel. Em razão da elevada concentração de compostos insaturados, o biodiesel apresenta maior susceptibilidade à auto-oxidação durante o armazenamento, o que pode provocar alterações na composição química dos ésteres metílicos e, conseqüentemente, modificar suas propriedades físico-químicas. Assim, recomenda-se que o biodiesel destinado a períodos prolongados de estocagem seja tratado com aditivos biocidas, visando à prevenção do crescimento de micro-organismos.

Quanto à viscosidade, quando os valores do biodiesel excedem os limites máximos estabelecidos pelas normas técnicas, podem ocorrer prejuízos ao funcionamento do sistema de injeção, uma vez que a bomba injetora pode não ser capaz de fornecer o volume adequado de combustível. Viscosidades excessivamente elevadas comprometem a pulverização do combustível na câmara de combustão, reduzindo a eficiência da atomização, favorecendo a formação de fumaça escura e aumentando o risco de contaminação do óleo lubrificante.

Adicionalmente, Pereira (2015) investigou o comportamento da volatilidade do biodiesel, observando que esse combustível apresenta baixa volatilidade em comparação ao diesel mineral. Em função dessa característica, uma fração do biodiesel pode não ser completamente vaporizada durante a combustão, havendo a possibilidade de deposição de combustível líquido nas paredes do cilindro ao longo

da fase de expansão do ciclo, o que pode contribuir para a diluição do óleo lubrificante e o aumento do desgaste dos componentes internos do motor.

4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Neste trabalho, avaliou-se a degradação do óleo lubrificante utilizado em um motor MWM-D229-4, instalado em um grupo gerador do ciclo Diesel, de injeção direta.

Na primeira etapa, avaliou-se a ferramenta preditiva de análise de óleo aplicada ao monitoramento das condições do lubrificante durante a operação do motor com biodiesel 100%, diesel comercial e com misturas de biodiesel e etanol hidratado.

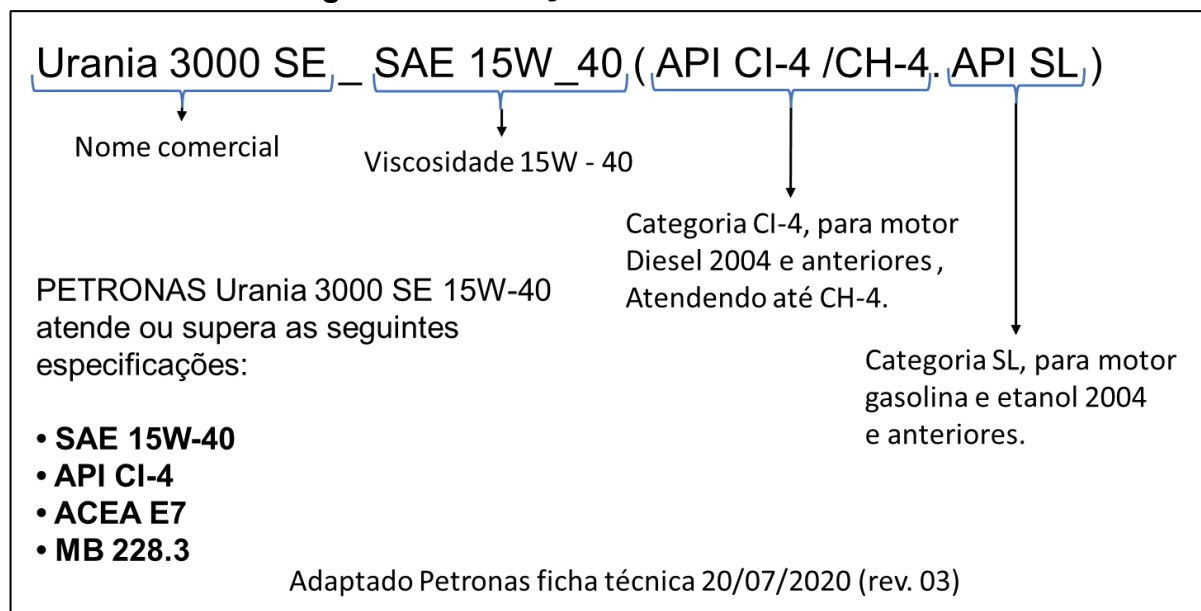
Na segunda etapa, analisou-se o processo de degradação do óleo lubrificante quando o motor foi alimentado com biodiesel 100% (B100).

4.1 Descrição do lubrificante utilizado

O óleo lubrificante escolhido para os testes é o Urania 3000 SE - SAE 15W_40 (API CI-4 /CH-4. API SL) - Petronas, ficha técnica 20/07/2020 (rev. 03) (“*Data Sheet*”), indicado para motores Diesel de alta potência, equipado com sistemas de controle de emissões como SCR e EGRA.

O óleo 3000 SE - SAE 15W_40 é descrito na figura 9.

Figura 9 - Descrição do óleo lubrificante



Fonte: Adaptado Petronas (2022)

O óleo Urania 3000 SE 15W - 40 é um lubrificante de base mineral para atender à motores a combustão interna e projetado para permanecer com as suas características originais por mais tempo, formando um filme lubrificante mais resistente, aumentando os períodos de troca e a vida do motor.

As principais propriedades são apresentadas no Quadro 7.

Quadro 7 - Propriedades típicas do óleo urania SE 15W - 40

Parâmetro	Método	Unidade	Valor
Cor	ASTM D1500	-	3,0
Aspecto	MAI 098	-	Límpido
Densidade 15°C	ASTM D4052	g/cm ³	0,875
Viscosidade a 100°C	ASTM D7042	mm ² /s (cSt)	15
Viscosidade a 40°C	ASTM D7042	mm ² /s (cSt)	112
Índice de Viscosidade (IV)	ASTM D2270	-	140
C.C.S a -20°C	ASTM D5293	cP	6,100
Ponto de Fluidez	ASTM D97	°C	-30
Ponto de Fulgor VAC	ASTM D92	°C	240
TBN	ASTM D2896	mg KOH/g	11,5
Cinzas Sulfatadas	ASTM D874	%	1,2

Fonte: Adaptado Petronas (2022)

*CCS, Cold Cranking Simulator

Carreteiro e Belmiro (2006) e Rudolphi, Kassfeldt e Torbacke (2014) descreveram as principais análises das características dos óleos lubrificantes, conforme apresentado nas páginas anteriores.

Estas características descritas no Quadro 8 estão contidas nos laudos das análises das amostras de óleo utilizado neste experimento.

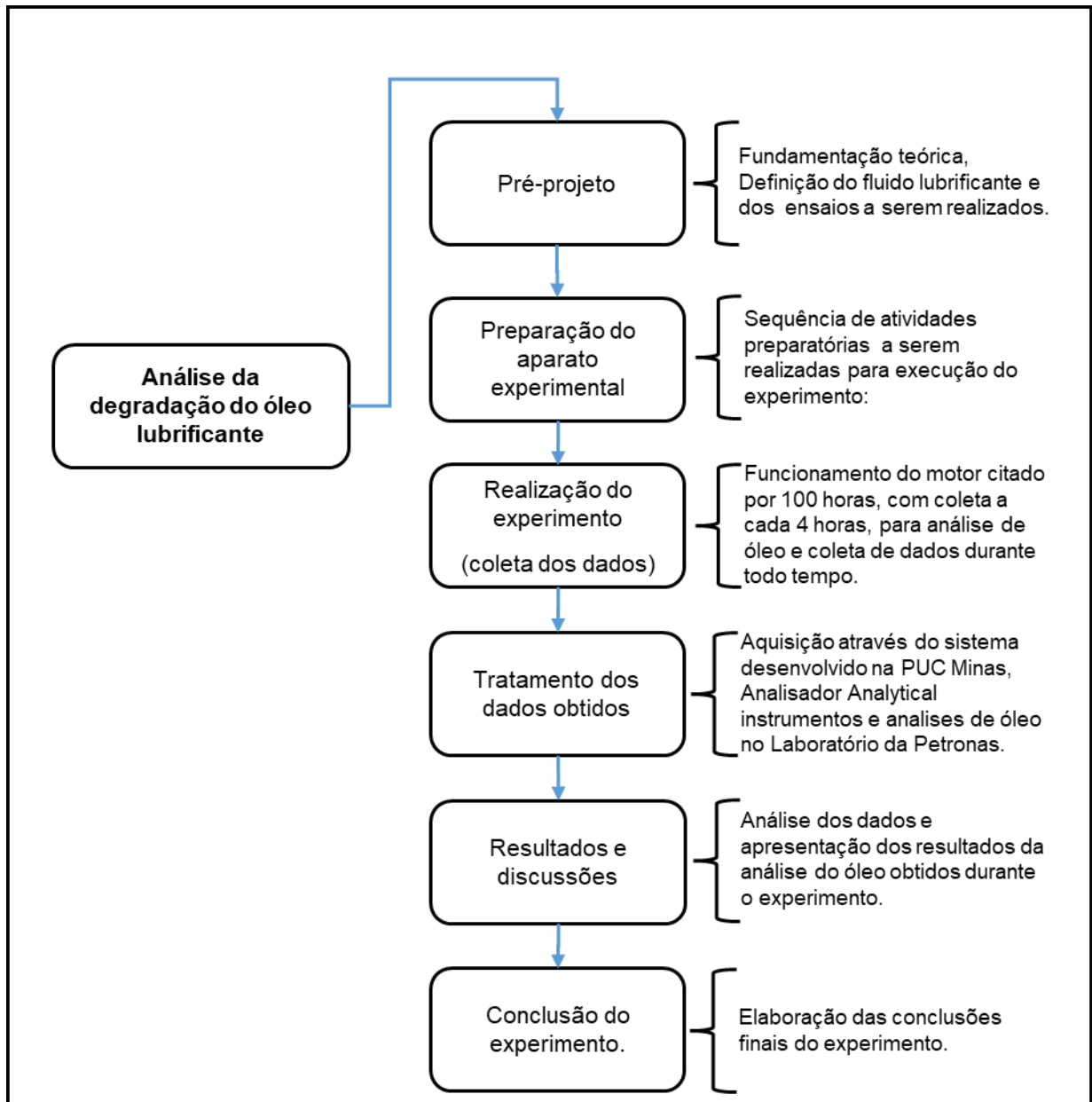
Quadro 8 - Análise das características dos óleos lubrificantes

ANALISES DO ÓLEO				
ITENS		CARACTERÍSTICAS	INDICADOR	INDÍCIO DE FALHA
1	Aparência	Cor	Controle da uniformidade.	Contaminação por outros fluidos e apresentação de fazes.
2		Aspecto	Contaminação	Contaminação por outros fluidos.
3	Óleo	Viscosidade@40°C - mm ² /s	Resistência ao cisalhamento e o escoamento	Alteração na resistência da película de fluido (resistência, cisalhamento e o escoamento).
4		Viscosidade@100°C - mm ² /s		
5		Índice de viscosidade	Variação da viscosidade em função da temperatura	Temperatura alterando a viscosidade do fluido lubrificante.
6	Acidez	TBN mg KOH/g	Índice de basicidade	Auturação no índice de basicidade
7		Oxidação - ppm	Aumento de acidez e formação de verniz e lodo.	Degradação do óleo por acidez, variação da viscosidade e consumo de carga de ativação ante oxidante.
8		Sulfatação - ppm	Formação de ácidos	Degradação do óleo por aumento na acidez, oxidação e consumo da carga de aditivo
9		Nitração - ppm		
10	Res. de carbono	Fuligem - ppm	Resíduos de queima de combustível	Deposito de carbono, degradação do óleo por combustão incompleta.
11	Líquido	Água - ppm	Formação acida, enfraquecimento do filme de óleo	Contaminação do óleo, oxidação e aumento da viscosidade do óleo.
12	Combustível	Diluição por Diesel - ppm	Contaminação por combustível	Degradação do óleo e redução da viscosidade.
13		Mix Diesel + Biodiesel - ppm		
14	Mineral	Sílica - ppm	Contaminação externa por poeira,	Desgaste por abrasão
15		Sódio - ppm	Contaminação externa ou interna	Contaminação através do sistema de admissão ou pelo liquido de arrefecimento.
16	Aditivos	Cálcio - ppm	Carga de aditivos detergentes e dispersantes	Degradação do óleo, redução na carga aditivação detergente
17		Magnésio - ppm		
18		Fósforo - ppm	Presença de aditivo ante desgaste	Degradação do óleo, redução na carga de aditivação de extrema pressão.
19		Zinco - ppm		
20	Metais	Molibdênio - ppm	Presença de partículas de metal	Falha no sistema de lubrificação, apresentado desgaste de componentes em movimento relativo.
21		Ferro - ppm		
22		Alumínio - ppm		
23		Cromo - ppm		
24		Cobre - ppm		
25		Estanho - ppm		
26		Chumbo - ppm		

Fonte: Adaptado de: Torbacke, Tudolphi e Kassfeldt, (2014)

O presente trabalho envolveu atividades apresentadas no Fluxograma da Figura 10.

Figura 10 - Fluxograma de atividades



Fonte: Elaborado pelo autor

4.2 Aparato experimental

Conforme apresentado por Justino (2018), o mesmo desenvolveu um módulo de injeção com o objetivo de operar o grupo motor-gerador no ciclo Diesel ou no ciclo

Otto. Também foi construído um sistema de aquisição de dados para coleta dos mesmos durante a realização do experimento.

As informações técnicas relativas ao grupo motor gerador são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Informação técnica do conjunto motor gerador

EQUIPAMENTO	PARÂMETRO	TIPO OU VALOR
MOTOR	Fabricante	MWM
	Modelo	D229-4
	Potência máxima @ 1500 RPM	40 kW
	Potência máxima @ 1800 RPM	49 kW
	Tipo de construção	Diesel – 4 tempos em linha
	Tipo de injeção	Direta
	Ordem de ignição	1-3-4-2
	Diâmetro × curso	0,102 m × 0,120 m
	Comprimento da biela	207 mm
	Capacidade volumétrica unitária	0,980 litros
	Número de cilindros	4
	Capacidade volumétrica total	$3,922 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
	Aspiração	Natural
	Razão volumétrica de compressão	17:1
	Momento de início da injeção	23°CA APMS
	Ângulo de abertura da válvula de exaustão	510°CA DPMS
	Ângulo de fechamento da válvula de admissão	210°CA DPMS
Ângulo de abertura da válvula de admissão	0° CA DPMS	
Ângulo de fechamento da válvula de exaustão	720°CA DPMS	
GERADOR	Número de polos	4
	Tensão	220 V
	Número de fases	3
	Potência nominal	55 kW
	Frequência	60 Hz

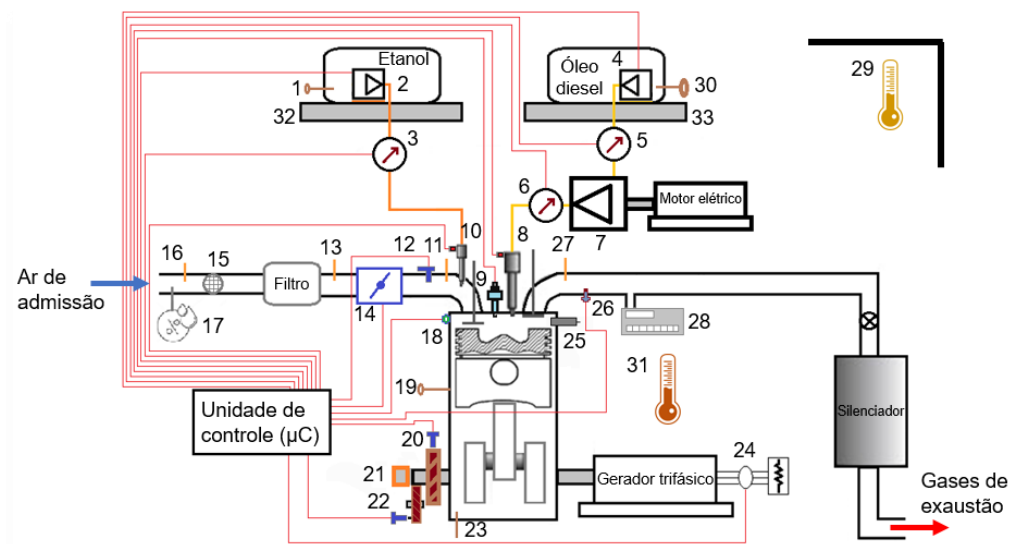
Fonte: Adaptado de Justino (2018).

4.3 Adaptações no grupo motor-gerador

O motor MWM do grupo gerador utilizado no experimento passou por modificações com o objetivo de atender os trabalhos realizados no laboratório. Uma das modificações realizadas foi o sistema de injeção mecânica de óleo diesel, que foi substituído por um sistema *Common Rail* de injeção eletrônica da Bosch utilizado no motor FPT F1A.

Na figura 11 é apresentado um desenho esquemático da configuração do motor e os acessórios.

Figura 11 - Alterações realizadas no motor e os sensores instalados



Fonte: Justino (2018).

Com o objetivo de apresentar a relação dos componentes do motor onde será realizado o experimento, elaborou-se o quadro 9 para relacionar as indicações dos componentes instalados.

Quadro 9 - Relação dos componentes do grupo motor-gerador

Relação dos componentes do grupo motor-gerador			
1	Termopar: etanol do reservatório	18	Termo resistor: líquido de arrefecimento (controle)
2	Bomba de baixa pressão (etanol)	19	Termo resistores: entrada e saída do arrefecimento (aquisição de dados)
3	Sensor de pressão (Baixa pressão etanol)	20	Sensor de rotação (magnético) e roda fônica
4	Bomba de baixa pressão (biodiesel)	21	<i>Encoder</i>
5	Sensor de pressão (Baixa pressão biodiesel)	22	Sensor de fase (magnético)
6	Sensor de pressão (Alta pressão biodiesel)	23	Termopar: óleo do cárter
7	Bomba de alta pressão (biodiesel)	24	Transdutor de grandezas elétricas
8	Eletro-injetor de biodiesel	25	Sensor de pressão da câmara de combustão
9	Vela de ignição (e transdutor de pressão somente no Cilindro 2)	26	Sonda Lambda
10	Eletro-injetor de etanol	27	Termopar: gás de exaustão
11	Termopar: ar após a válvula borboleta	28	Analizador de gases da exaustão
12	Sensor TMAP	29	Barômetro: pressão atmosférica
13	Termopar: ar após o filtro	30	Termo resistor: biodiesel do reservatório
14	Válvula borboleta	31	Termopar: ambiente na região do motor
15	Sensor de vazão mássica do ar admitido	32	Peso do reservatório de etanol
16	Termopar: ar da admissão	33	Peso do reservatório de biodiesel
17	Termo-higrômetro		

Fonte: Adaptado de Justino (2018).

Os equipamentos utilizados na leitura dos parâmetros pertinentes à realização da análise do desempenho do óleo lubrificante são mostrados no quadro do Anexo I (Justino, 2018).

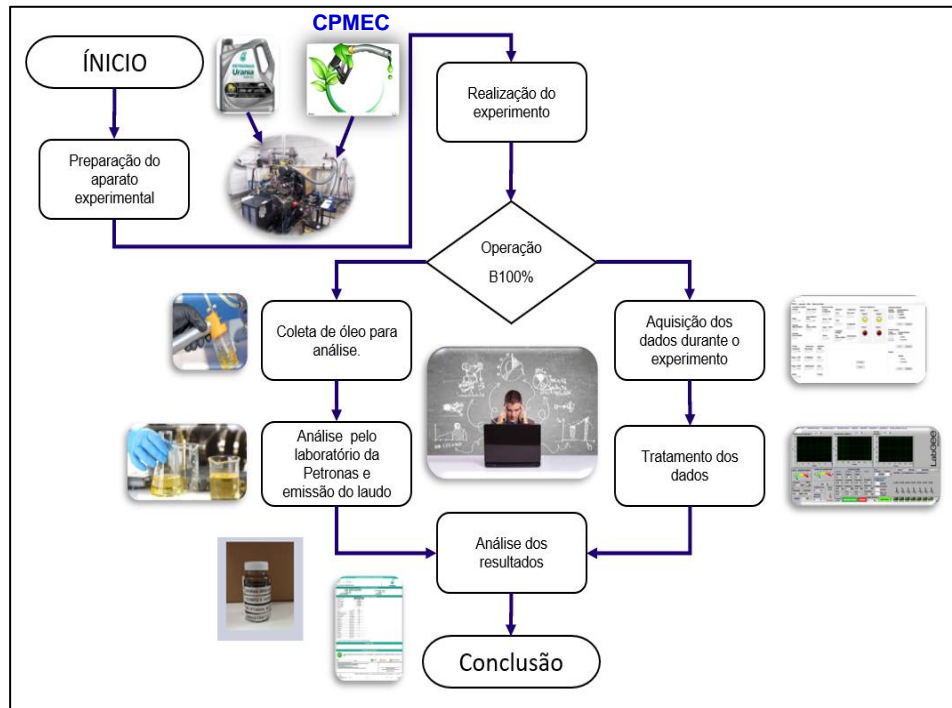
4.4 Preparação do aparato experimental

A sequência de atividades preparatórias realizadas para execução do experimento é descrita a seguir:

- a) Produção de biodiesel 100% utilizando óleo de soja como matéria prima;
- b) Preparação do motor do Ciclo Diesel a ser abastecido com biodiesel 100%;
- c) Drenagem do fluido lubrificante do motor;
- d) Drenagem do sistema de arrefecimento;
- e) Substituição dos filtros de ar, óleo e combustível (troca de sacrifício);
- f) Abastecimento de óleo novo especificado para o motor;
- g) Abastecimento do sistema de arrefecimento com emulsão de água e aditivo especificado para o motor MWM, conforme catálogo do fabricante;
- h) Funcionamento o motor com a carga de sacrifício para limpeza do sistema de lubrificação e o sistema de arrefecimento, por 60 minutos ou até o motor atingir a temperatura acionamento da válvula termostática, proporcionando a circulação do fluido de arrefecimento;
- i) Tempo de espera para o motor atingir a temperatura ambiente e os fluidos decantarem (tempo estimado de uma hora);
- j) Drenagem dos fluidos de sacrifício;
- k) Troca dos filtros de óleo e combustível;
- l) Abastecimento com óleo novo especificado pelo fabricante;
- m) Abastecer com emulsão de fluido de arrefecimento.
- n) Realização do experimento.

Na Figura 12 é apresentado um fluxograma das atividades da execução prática do experimento com objetivo de facilitar a replicação do mesmo.

Figura 12 - Fluxograma das atividades



Fonte: Elaborado pelo autor.

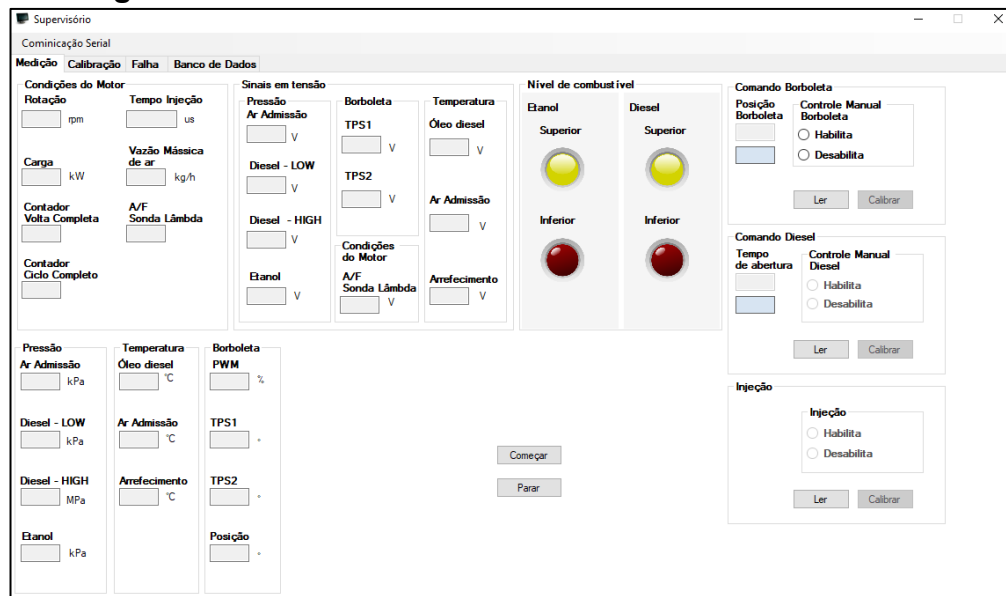
4.5 Realização do experimento

A realização dos testes segue trabalho feito por (Kurre; Garg; Pandey, 2021) que realizaram estudo do comportamento de óleo lubrificante de um motor Diesel por 100 horas, com coleta a cada 4 horas.

Conforme Moreira (2018), a potência máxima que será aplicada ao motor é de 27,5 KW, considerando-se assim esta potência fixa para a realização dos testes.

Será utilizado neste experimento um sistema de aquisição de dados que utiliza linguagem de programação C#. A tela do painel de controle está mostrada na Figura 13.

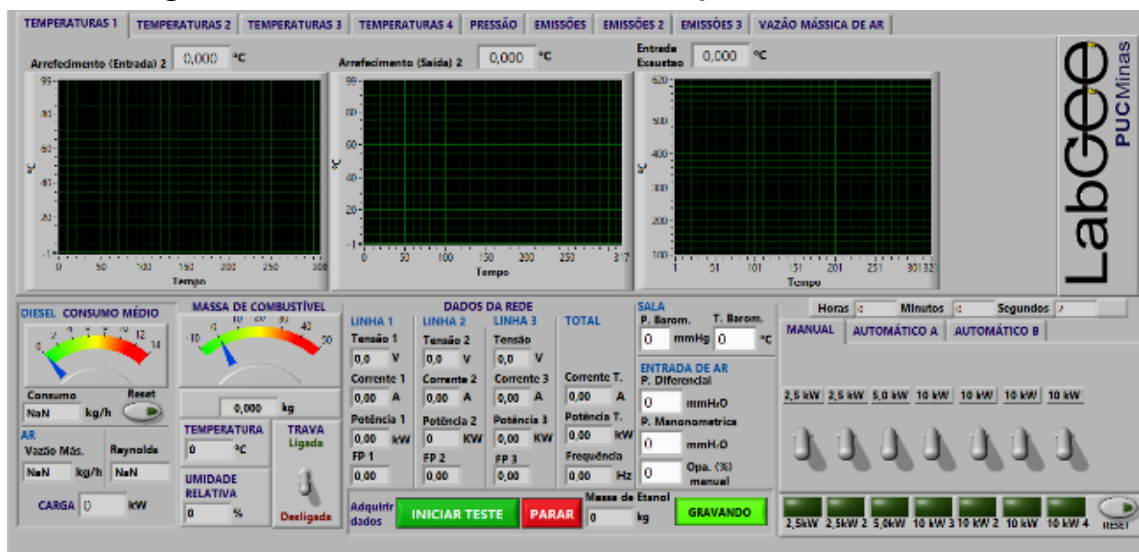
Figura 13 - Painel de Controle - Parâmetros monitorados



Fonte: Adaptado de Justino (2018).

Conforme Moreira (2018), o sistema de aquisição de dados utilizado no laboratório da PUC Minas foi desenvolvido internamente. O sistema é composto pelo analisador de gases da fabricante California Analytical Instruments, circuitos condicionadores de sinais e algoritmos desenvolvidos no software Lab VIEW da National Instruments, e é responsável pela aquisição dos dados pertinentes à análise do desempenho, emissões do motor e o controle de acionamento das cargas submetidas a ele. A figura 14 mostra a interface do sistema de aquisição de dados.

Figura 14 - Interface do sistema de aquisição de dados



Fonte: Justino (2018).

Durante a realização do experimento, foram coletados os dados da temperatura ambiente carga (kw), temperatura do fluido de arrefecimento e óleo do cárter.

Também foram coletados os dados provenientes das análises do óleo novo e do óleo utilizado no experimento, com o objetivo de verificar suas condições físico-químicas.

Foram realizados os testes de viscosidade cinemática a 40 °C e a 100 °C, conforme a norma ASTM D445-21, além da análise do índice de viscosidade, segundo a norma ASTM D2270. Também foram analisadas outras características, como o TBN (Número de Base Total), medido em mg KOH/g, utilizando-se como referência a norma ASTM D2896-15. A presença de minerais utilizados na aditivação do fluido lubrificante — cálcio, silício, sódio, magnésio e fósforo — foi determinada conforme a norma ASTM D5185-18. No mesmo ensaio, avaliou-se a presença de metais indicativos de desgaste metálico, tais como zinco, molibdênio, cádmio, manganês, titânio, vanádio, bário, ferro, cromo, chumbo, cobre, estanho, alumínio, níquel e prata, também com base na ASTM D5185-18.

A fuligem presente no óleo, oriunda de combustão incompleta, foi verificada segundo a norma ASTM E2412-10. A oxidação, nitratação e sulfatação do óleo lubrificante foram determinadas de acordo com as normas ASTM E2412, ASTM D7414, ASTM D7624 e ASTM D7415.

O teor de contaminação por água foi analisado conforme a norma NBR 16358, e a diluição do combustível (diesel) no lubrificante foi avaliada seguindo a norma ASTM D7593.

Seguindo os procedimentos realizados por Moreira (2018), após a preparação do motor, a verificação e o ajuste de todos os equipamentos, iniciou-se sua partida. Segundo a norma ISO 15550:2016, a aquisição de dados para testes em motores a combustão interna inicia-se quando estes estão em regime permanente de operação. Para este trabalho o regime permanente considerado foi quando o líquido de arrefecimento do motor atingiu a temperatura de 65 °C e rotação de 1800 ± 20 rpm. Após atingir estes valores, inicia-se o teste. Na finalização, o sistema automaticamente interrompe a aquisição dos dados e o motor é desligado. Os dados são armazenados em uma planilha Excel para tratamento e análises posteriores. No presente trabalho é proposta uma duração de 100 horas, porém será observada as condições do lubrificante por inspeção visual e análise físico-química, com coleta de fluido lubrificante a cada 4 horas na potência de 27,5 KW.

4.6 Incerteza de medição

Durante esse teste, foram realizadas análises do óleo lubrificante, conforme mencionado anteriormente. O laboratório de análise de óleo apresentou a incerteza total associada ao resultado do ensaio, conforme indicado no Quadro 10.

Quadro 10 - Incerteza do valor medido das propriedades do óleo

Itens	Propriedade	VL	Itens	Propriedade	VL
1	Viscosidade 40°C - mm ² /s	± 1,50 %	16	Magnésio - mg/kg	± 1,25 %
2	Viscosidade 100°C - mm ² /s	± 1,50 %	17	Fósforo - mg/kg	± 1,25 %
3	Índice de viscosidade	± 1,50 %	18	Zinco - mg/kg	± 1,25 %
4	TBN mg KOH/g	± 0,20 %	19	Molibdênio - mg/kg	± 1,25 %
5	Ponto de fulgor vaso fechado, °C	± 0,75 %	20	Cádmio, mg/kg	± 1,25 %
6	Oxidação – Abs /cm	± 0,003 %	21	Manganês, mg/kg	± 1,25 %
7	Sulfatação – Abs /cm	± 0,05 %	22	Titânio, mg/kg	± 1,25 %
8	Nitração – Abs /cm	± 0,003 %	23	Vanádio, mg/kg	± 1,25 %
9	Níquel, mg/kg	± 0,75 %	24	Bário, mg/kg	± 1,25 %
10	Prata, mg/kg	± 0,003 %	25	Ferro - mg/kg	± 1,25 %
11	Fuligem – Abs /cm	± 0,003 %	26	Alumínio - mg/kg	± 1,25 %
12	Água - ppm	± 3,00 %	27	Cromo - mg/kg	± 1,25 %
13	Silício, mg/kg	± 3,00 %	28	Cobre - mg/kg	± 1,25 %
14	Sódio – ppm	± 3,00 %	29	Estanho - mg/kg	± 1,25 %
15	Cálcio - mg/kg	± 3,00 %	30	Chumbo - mg/kg	± 1,25 %

Fonte: Adaptado do laboratório de análise de lubrificantes (2023).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados dos ensaios voltados à avaliação dos fatores que influenciam a degradação do óleo lubrificante. Os dados foram correlacionados a parâmetros físico-químicos, como viscosidade, número de acidez total (TAN) e ponto de fulgor, além de outros indicadores de desempenho.

Foram analisados os efeitos do uso prolongado, da presença de contaminantes e seu impacto sobre as propriedades do lubrificante, permitindo compreender os mecanismos de degradação e propor estratégias de mitigação.

Os resultados oferecem subsídios para a indústria automotiva e fabricantes de lubrificantes, favorecendo o desenvolvimento de formulações mais estáveis.

Os testes foram subdivididos em duas etapas: a primeira, são apresentados os resultados e discussões do lubrificante Urania 3000 SE SAE 15W-40 (ficha técnica no Anexo A), em um motor MWM D229/4, operando com óleo diesel S10 e diferentes misturas de biodiesel e etanol hidratado.

Na segunda etapa, são apresentados e discutidos os resultados obtidos nas análises do óleo Urania 3000 SE SAE 15W-40, aplicado ao motor MWM D229/4 operando com biodiesel B100.

5.1 Resultados e discussões da primeira etapa

Com o objetivo de avaliar a eficácia da ferramenta de análise de óleo, foi conduzido um teste preliminar utilizando o lubrificante Urania 3000 SE SAE 15W-40 (ficha técnica no Anexo A), em um motor MWM D229/4, operando com óleo diesel S10 e diferentes misturas de biodiesel e etanol hidratado. O etanol empregado nas misturas foi do tipo hidratado, contendo aproximadamente 7% de água destilada em sua composição. A seguir, são apresentados os resultados das análises do óleo lubrificante utilizado nos testes do motor funcionando no ciclo Diesel, abastecido com óleo diesel S10 e com as misturas especificadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Composição das misturas utilizadas nos testes

Mistura	Composição do combustível (%)
DS10	100% Óleo Diesel S10
B50%/E50%	50% Biodiesel / 50% Etanol hidratado
B40%/E60%	40% Biodiesel / 60% Etanol hidratado
B60%/E40%	60% Biodiesel / 40% Etanol hidratado
D S10 50%/E50%	50% Óleo Diesel S10 / 50% Etanol hidratado
D S10 60%/E40%	60% Óleo Diesel S10 / 40% Etanol hidratado

Fonte: Elaborado pelo autor

As amostras do fluido lubrificante foram coletadas ao longo de sete horas de operação, em intervalos de uma hora entre cada coleta. Os dados referentes às amostras coletadas são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Amostra de óleos coletados

Análise de óleo - Urania 3000 SE _ SAE 15W_40 (API CI-4 /CH-4. API SL)							
Produto	3000 SE	3000 SE	3000 SE	3000 SE	3000 SE	3000 SE	3000 SE
N° Amostra	S-220725 00099	S-220725 00100	S-220725 00101	S-220725 00102	S-220725 00103	S-220725 00104	S-220725 00105
Data Coleta	11/07/2022	18/07/2022	19/07/2022	19/07/2022	19/07/2022	20/07/2022	21/07/2022
Tempo de uso (horas)	0	1	2	3	5	6	7

Fonte: Adaptado de Petronas (2022).

Utilizando os instrumentos já instalados para aquisição destes dados conforme Justino (2012) e Moreira (2018), foi medida a temperatura do óleo no cárter durante a coleta das amostras bem como os demais dados, conforme mostrado na tabela 7.

Tabela 7 - Dados de temperatura e carga no momento da amostragem

Amostra	Combustível	Carga (KW)	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura Carter (°C)
S 220725-00100	Diesel S10	27,5	22 ± 1	89 ± 1
S 220725-00101	B50E50	27,5	24 ± 1	98 ± 1
S 220725-00102	B40E60	27,5	25 ± 1	99 ± 1
S 220725-00103	B60E40	27,5	25 ± 1	101 ± 1
S 220725-00104	E50	27,5	25 ± 1	100 ± 1
S 220725-00105	E50	27,5	25 ± 1	100 ± 1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme apresentado na Tabela 8, observa-se os resultados obtidos nas análises do óleo lubrificante, realizadas em parceria com uma empresa local fabricante de lubrificantes. As análises completas e seus respectivos resultados encontram-se detalhados nos Anexos B, C, D, E, F, G, H e I.

Tabela 8 - Resultado das análises

RESULTADO DAS ANÁLISES									
ITENS	Propriedades / Características	NOVO	S10	B50% E50%	B40% E60%	B60% E40%	D S10.50% E50%	D S10.50% E50%	OBSERVAÇÕES
1	Cor	Castanho	Preto	Preto	Preto	Preto	Preto	Preto	Escurecimento
2	Aspecto	Límpido	Típico	Típico	Típico	Típico	Típico	Típico	Sem alteração
3	Viscosidade 40°C - mm ² /s	112,7	101,8	89,19	76,29	68,44	67,05	67,33	Redução, indicação de degradação
4	Viscosidade 100°C - mm ² /s	14,24	13,69	12,68	11,5	10,79	10,69	10,67	Redução, indicação de degradação
5	Índice de viscosidade	128	135	139	143	147	149	148	Aumento, indicação de contaminação
6	TBN mg KOH/g	12	11,4	11,2	10,7	10,7	10,4	10,5	Queda, indicação de degradação
7	Oxidação - Abs/cm	0	3	32	73	106	108	108	Aumento, indicação de degradação
8	Sulfatação - Abs/cm	0	0	4	7	10	10	11	Aumento, indicação de degradação
9	Nitração - Abs/cm	0	0	2	3	5	5	5	Aumento, indicação de degradação
10	Fuligem - Abs/cm	0,1	0,1	0,1	2,1	5,1	5,1	6,1	Aumento, indicação de contaminação
11	Água -	0	0	0	0	0	0	0	Sem alteração
12	Diluição por Diesel - ppm	0	2,8	4	5,7	6,3	6,5	6,4	Aumento, indicação de degradação
13	Mix Diesel + Biodiesel - ppm	0	4	6,3	9,5	11,6	11,9	11,6	Aumento, indicação de degradação
14	Sílica - mg/kg	8	7	7	7	8	7	7	Sem alteração
15	Sódio - mg/kg	1	1	1	1	1	1	1	Sem alteração
16	Cálcio - mg/kg	1430	1520	1380	1350	1320	1270	1270	Queda, indicação de degradação
17	Magnésio - mg/kg	1346	1425	1297	1276	1243	1204	1197	Queda, indicação de degradação
18	Fósforo - mg/kg	1280	1360	1240	1210	1180	1140	1130	Queda, indicação de degradação
19	Zinco - mg/kg	1550	1640	1480	1460	1420	1380	1370	Queda, indicação de degradação
20	Molibidênio - mg/kg	59	60	54	53	52	49	50	Queda, indicação de degradação
21	Ferro - mg/kg	1	7	9	14	16	17	16	Aumento, indicação de desgaste
22	Alumínio - mg/kg	0	2	1	2	2	3	2	Aumento, indicação de desgaste
23	Cromo - mg/kg	1	4	7	11	16	17	17	Aumento, indicação de desgaste
24	Cobre - mg/kg	0	0	0	1	1	1	1	Aumento, indicação de desgaste
25	Estanho - mg/kg	2	4	6	8	10	11	11	Aumento, indicação de desgaste
26	Chumbo - mg/kg	0	0	0	1	1	1	1	Aumento, indicação de desgaste

Fonte: Adaptado de Petronas (2022).

Com base nos resultados das análises do óleo lubrificante, observaram-se diversos aspectos relevantes, iniciando-se pela alteração de cor. Verificou-se que o lubrificante modificou sua tonalidade de castanho para preto, indicando a atuação dos aditivos detergentes e dispersantes presentes na formulação do óleo. Foram igualmente analisadas as propriedades reológicas do fluido lubrificante, especificamente a viscosidade a 40 °C (mm²/s) e a 100 °C (mm²/s).

Notou-se uma tendência de redução da viscosidade quando o motor operou com as misturas de combustíveis avaliadas no teste preliminar. A diminuição de viscosidade, apresentada na Tabela 8, constitui um indicativo de degradação do óleo, possivelmente decorrente da contaminação por combustível.

O óleo lubrificante, antes do uso, apresentava uma viscosidade de 14,24 mm²/s a 100 °C, valor compatível com a faixa característica do óleo SAE 40. Após 7 horas de operação, essa viscosidade reduziu-se para 10,67 mm²/s a 100 °C, evidenciando uma mudança nas propriedades do lubrificante.

Além disso, foi analisado o Número de Base Total (TBN), sendo observada uma redução nos valores, conforme indicado na Tabela 8. A queda no TBN indica um aumento na acidez do óleo, sugerindo uma tendência à degradação e oxidação do lubrificante ao longo do uso.

No estudo conduzido por Kurre, Garg e Pandey (2021), verificou-se que o valor de TAN aumentou proporcionalmente ao tempo de operação do motor, evidenciando a elevação da acidez do óleo e o consequente avanço do processo oxidativo. Comportamento semelhante foi observado nos ensaios realizados neste estudo preliminar, conforme apresentado na Tabela 8. Esses resultados corroboram o indicativo de degradação do óleo lubrificante, especialmente no que se refere à sua tendência à oxidação.

De acordo com Junior Santos (2011), a sulfatação é a combinação de vários óxidos de enxofre e água que entram em reação e produzem a formação de ácidos, como o ácido sulfúrico. No presente trabalho este índice variou de 0 ppm a 11ppm, indicando uma tendência de formação acida no óleo e consequente degradação do mesmo.

Em conformidade com a norma ASTM D5185 18, verificou-se fuligem no óleo oriunda de uma combustão incompleta. As análises mostraram um aumento da mesma, indicando degradação do óleo por contaminação em função de combustão incompleta, conforme item apresentado na Tabela 8.

A análise do óleo lubrificante empregado no experimento evidenciou a presença dos minerais utilizados em sua formulação aditivada — cálcio, silício, sódio, magnésio e fósforo. Verificou-se, entretanto, uma redução nos teores desses elementos, indicando possível contaminação do lubrificante e avançando seu processo de degradação. Esses resultados sugerem consumo progressivo do pacote de aditivos, em consonância com as observações apresentadas por Pereira (2015).

A análise do lubrificante utilizado no experimento, realizada conforme a norma ASTM D5185:18, permitiu avaliar a presença de metais indicativos de desgaste dos componentes do motor. Foram quantificados os elementos zinco, molibdênio, cádmio, manganês, titânio, vanádio, bário, ferro, cromo, chumbo, cobre, estanho, alumínio, níquel e prata. Os resultados revelaram uma tendência de aumento do desgaste metálico ao longo do período de operação, evidenciada pela elevação das concentrações de partículas metálicas nas amostras de óleo analisadas.

Na primeira etapa, a análise preditiva de óleo permitiu identificar variações nas propriedades do lubrificante, incluindo redução de viscosidade a 40 °C de (45,37 mm²/s) e uma redução a 100 °C de (3,57 mm²/s), queda de TBN (1,5 mg KOH/g) e aumento nos níveis de oxidação (107 Abs/cm). Constatou-se também o consumo de aditivos e elevação nas concentrações de partículas metálicas, indicando desgaste interno e possíveis falhas no sistema de lubrificação. A análise revelou contaminação por combustível, contribuindo para a redução da viscosidade e aumento da acidez, associado à queda do TBN, caracterizando a degradação do óleo.

A presença de fuligem indicou combustão incompleta, possíveis falhas no sistema de injeção ou excesso de recirculação de gases. Verificou-se ainda o aumento de ferro, cromo e estanho, evidenciando desgaste mecânico.

Concluiu-se que a ferramenta de análise preditiva foi eficaz, fornecendo dados confiáveis para o monitoramento do lubrificante, sendo validada para a próxima fase do experimento com motor a biodiesel 100%.

5.2 Resultados e discussões da segunda etapa

Nesta etapa, são apresentados e discutidos os resultados obtidos nas análises do óleo Urania 3000 SE SAE 15W-40, aplicado ao motor MWM D229/4 operando com biodiesel B100 óleo de soja. O objetivo desta seção é interpretar os dados provenientes das amostras coletadas, a fim de avaliar o desempenho e a estabilidade do lubrificante em regime de operação com biocombustível, considerando as condições de uso e os parâmetros físico-químicos monitorados ao longo do ensaio.

Com o objetivo de avaliar o comportamento do lubrificante ao longo do uso, foram realizadas diversas análises físico-químicas e de desempenho. Os procedimentos experimentais encontram-se descritos no Anexo J, e o resumo dos principais resultados é apresentado no Apêndice B.

Durante a realização do experimento, o fluido lubrificante foi submetido à operação no motor por períodos de 4, 8, 12, 16, 23, 30, 36, 42 e 48 horas. Ao término de cada intervalo, foram coletadas amostras do óleo lubrificante, destinadas à análise laboratorial de suas propriedades físico-químicas.

A coleta foi conduzida conforme as recomendações estabelecidas pelas normas técnicas pertinentes (por exemplo, ABNT NBR 16358 e ABNT NBR 5503), bem como pelas diretrizes aplicáveis ao manuseio de óleo lubrificante usado.

procedimento de coleta foi efetuado com o motor desligado, mas ainda quente, utilizando uma mangueira inserida no tubo da vareta de medição do nível de óleo. Um recipiente limpo e devidamente identificado, juntamente com uma bomba de sucção manual, foi utilizado para a coleta. As amostras foram acondicionadas em recipientes herméticos e transportadas ao laboratório, identificadas com informações referentes à data, hora, equipamento, tempo de operação e condição do fluido.

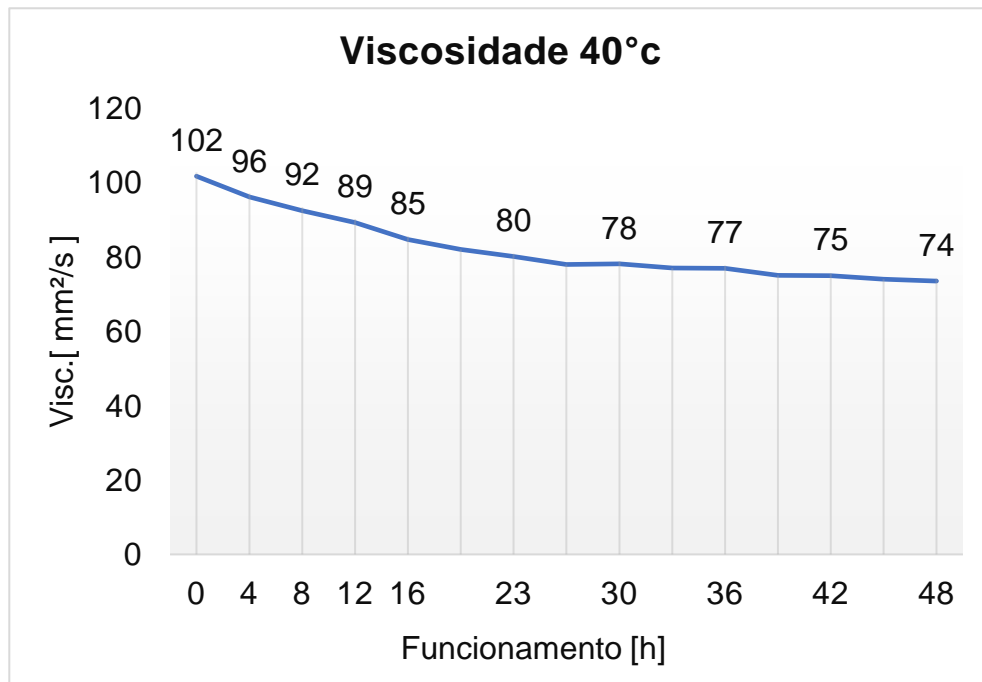
O procedimento adotado possibilitou o monitoramento sistemático das alterações ocorridas no óleo durante o funcionamento do motor, permitindo a avaliação do comportamento do lubrificante sob diferentes períodos de operação. Dessa forma, tornou-se viável a análise das características do óleo mineral utilizado no ensaio.

5.2.1 - Análise dos resultados dos testes - segunda fase

Foram analisadas as principais variações nas propriedades do óleo lubrificante por meio de ensaios realizados em diferentes intervalos de tempo, mantendo uma potência constante de 27,5 kW no motor MWM-D229/4. O objetivo da avaliação foi compreender o comportamento do lubrificante durante o período de operação. A análise inicial do óleo lubrificante revelou alteração significativa na coloração, indicando a presença de resíduos internos e possível contaminação por outros fluidos. Essa mudança também pode ser atribuída à ação dos aditivos detergentes e dispersantes, responsáveis pela limpeza do motor e remoção de partículas, o que justifica a modificação esperada na aparência do óleo em conformidade com Kimura, (2010).

Verificou-se uma redução de aproximadamente 27,45 % na viscosidade cinemática a 40 °C, atribuída, entre outros fatores, à diluição do óleo lubrificante por combustível não queimado, o qual atua como solvente parcial dos aditivos poliméricos, favorecendo o cisalhamento e a degradação dos melhoradores de índice de viscosidade. Além disso, a contaminação por resíduos de biodiesel intensifica a tendência à oxidação do lubrificante, contribuindo para a perda de estabilidade e a diminuição da viscosidade. Resultados semelhantes foram relatados por Mori *et al.* (2015) e Bezerra *et al.* (2021), conforme apresentado no gráfico 4.

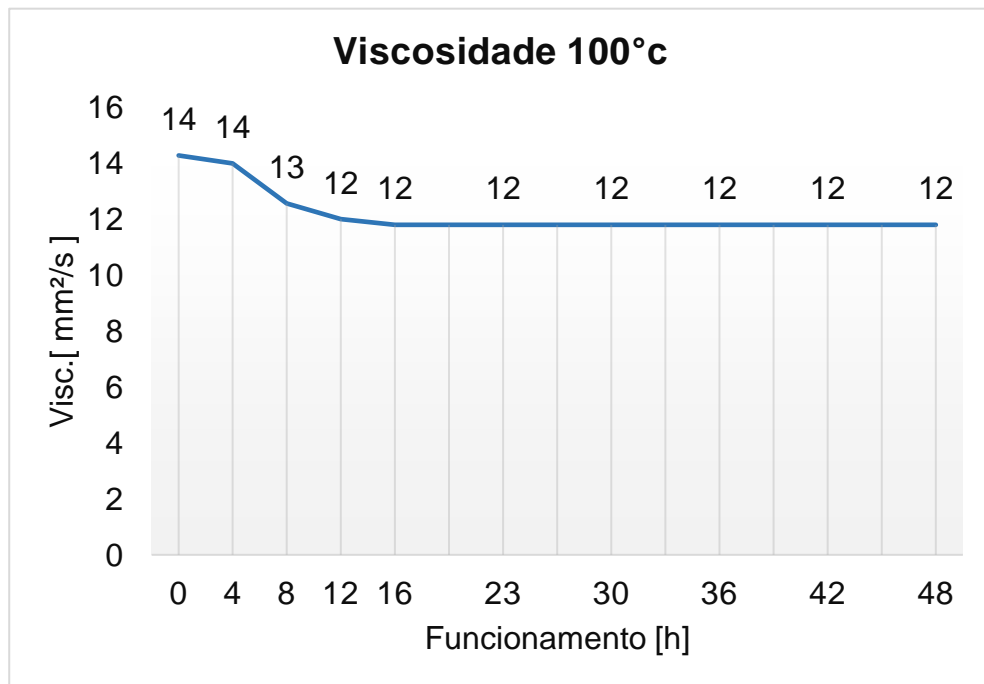
Gráfico 4 - Viscosidade a 40°C



Fonte: Elaborado pelo autor.

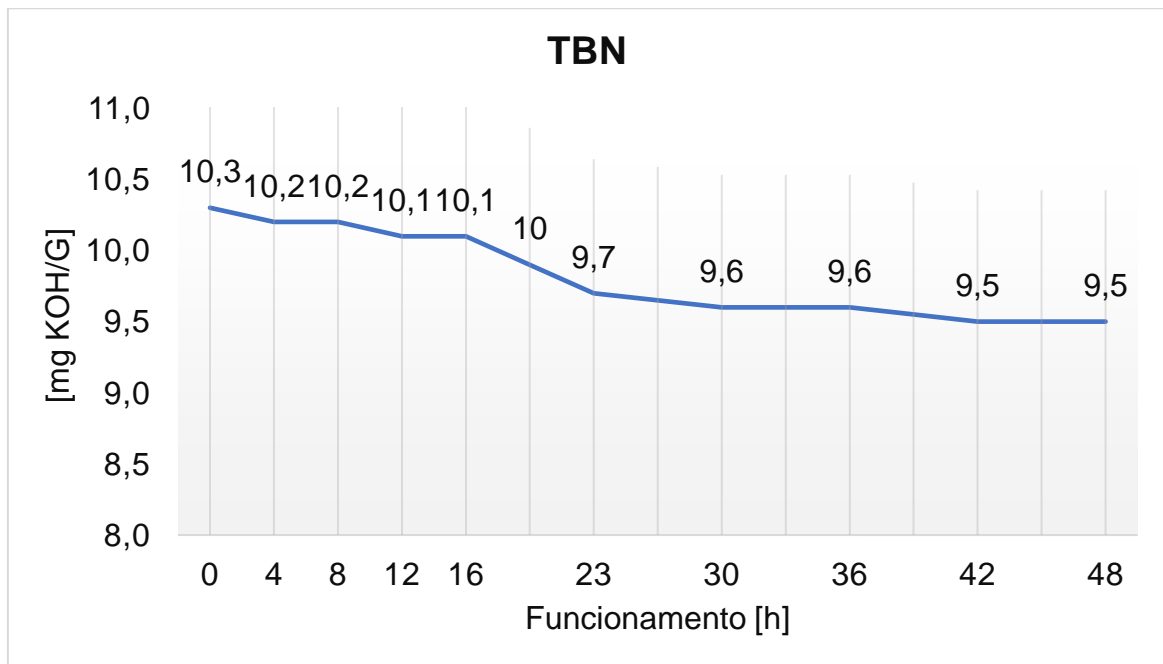
Ao analisar os resultados da viscosidade cinemática a 100 °C, observou-se uma redução de aproximadamente 14,28%, conforme apresentado no Gráfico 5. Tal comportamento pode estar relacionado à degradação térmica do óleo lubrificante, decorrente do esgotamento dos aditivos de controle de viscosidade, bem como à contaminação por biodiesel, cuja natureza altamente solvente favorece a alteração das propriedades físico-químicas do lubrificante. Adicionalmente, o aumento dos processos oxidativos no óleo contribui para a redução de sua estabilidade e consequente diminuição da viscosidade, conforme também verificado por (Gonçalves *et al.*, (2024).

Gráfico 5 - Viscosidade 100°C



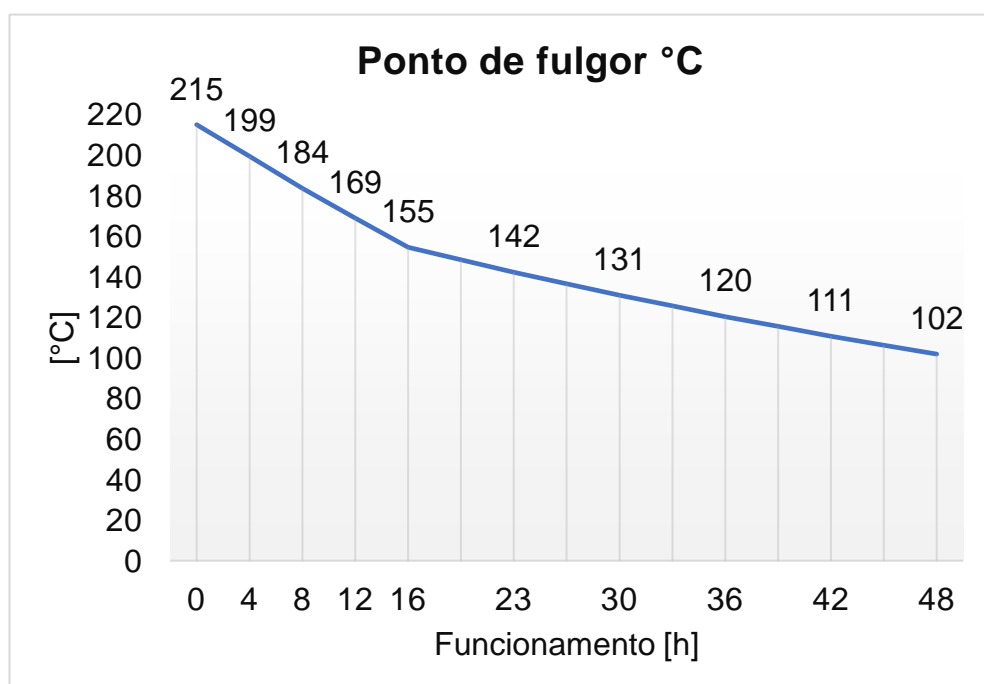
Fonte: Elaborado pelo autor.

Notou-se também uma redução de 7,76% no Número de Base Total -TBN, evidenciando a diminuição da capacidade de neutralização de ácidos, o que pode comprometer a proteção anticorrosiva e favorecer o desgaste de componentes conforme apresentado no Gráfico 6, em conformidade também com Wolak *et al.*, (2022).

Gráfico 6 – Número Base Total TBN

Fonte: Elaborado pelo autor.

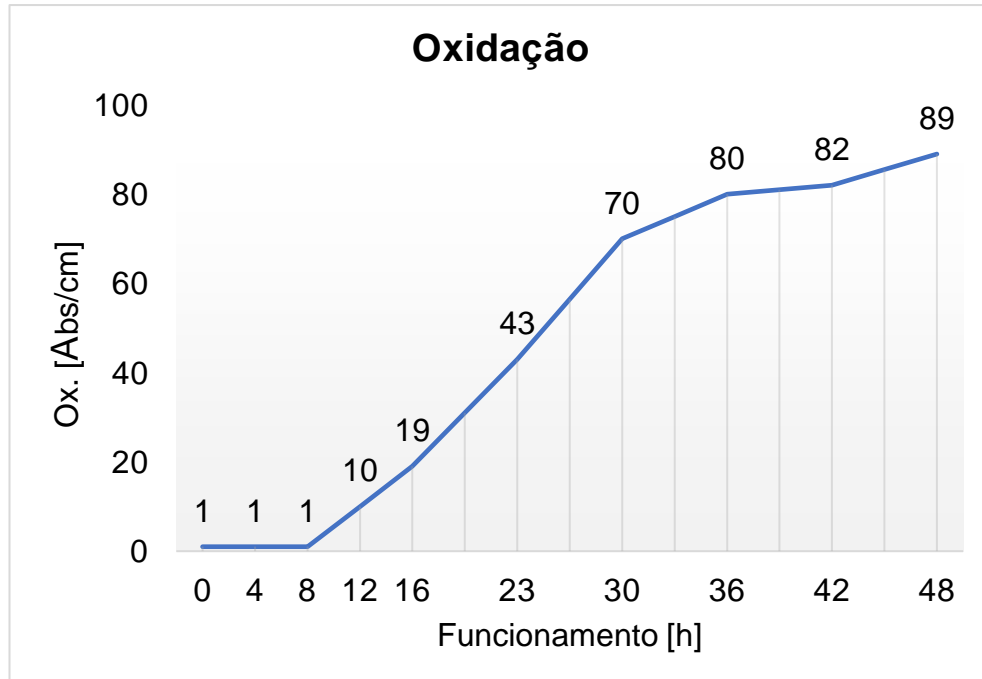
O ponto de fulgor apresentou uma redução acentuada de aproximadamente 52,55%, indicando possível degradação do óleo lubrificante ou contaminação por compostos voláteis. Tal comportamento afeta negativamente as propriedades lubrificantes e o desempenho operacional do sistema. Resultados semelhantes foram observados por Gonçalves et al. (2024). Conforme apresentado no gráfico 7.

Gráfico 7 - Ponto de fulgor °C

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise da oxidação do óleo revelou um aumento de 88 Abs/cm, conforme apresentado no gráfico 8, indicando degradação do lubrificante. Esse processo, intensificado pela exposição ao oxigênio e altas temperaturas, compromete as propriedades lubrificantes e protetoras do óleo, reduzindo sua eficiência e vida útil, também verificado por Song *et al.*, (2023).

Gráfico 8 - Variação da oxidação

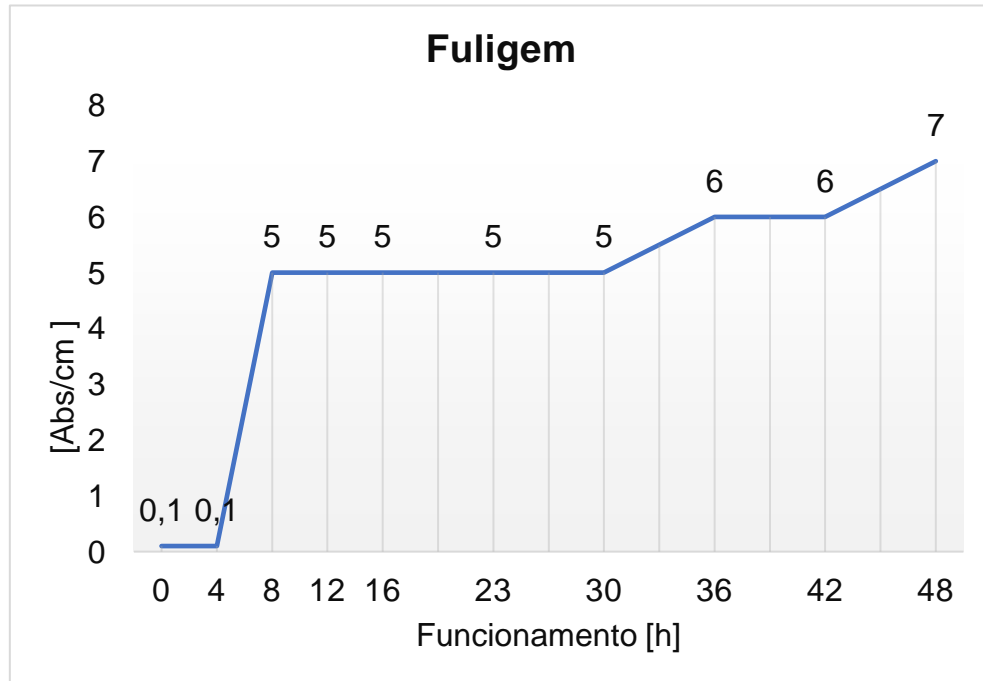


Fonte: Elaborado pelo autor.

Na análise dos resultados obtidos, observou-se que algumas propriedades do óleo lubrificante, como sulfatação, nitração e a presença de metais (níquel e prata), permaneceram praticamente inalteradas ao longo do período de operação. Entretanto, verificou-se um aumento de 7 Abs/cm nos níveis de fuligem do óleo lubrificante, conforme apresentado no Gráfico 9. Esse acréscimo indica a possível ocorrência de combustão incompleta, fenômeno que favorece a formação de partículas carbonosas e sua incorporação ao lubrificante. A elevação do teor de fuligem no óleo é um indicativo relevante, pois interfere diretamente nas propriedades físico-químicas do lubrificante, podendo aumentar sua viscosidade e acelerar o processo de degradação térmica e oxidativa.

Dessa forma, a análise desse parâmetro é importante para a avaliação do desempenho do óleo durante o ensaio e para a correlação com os demais indicadores discutidos nas seções subsequentes.

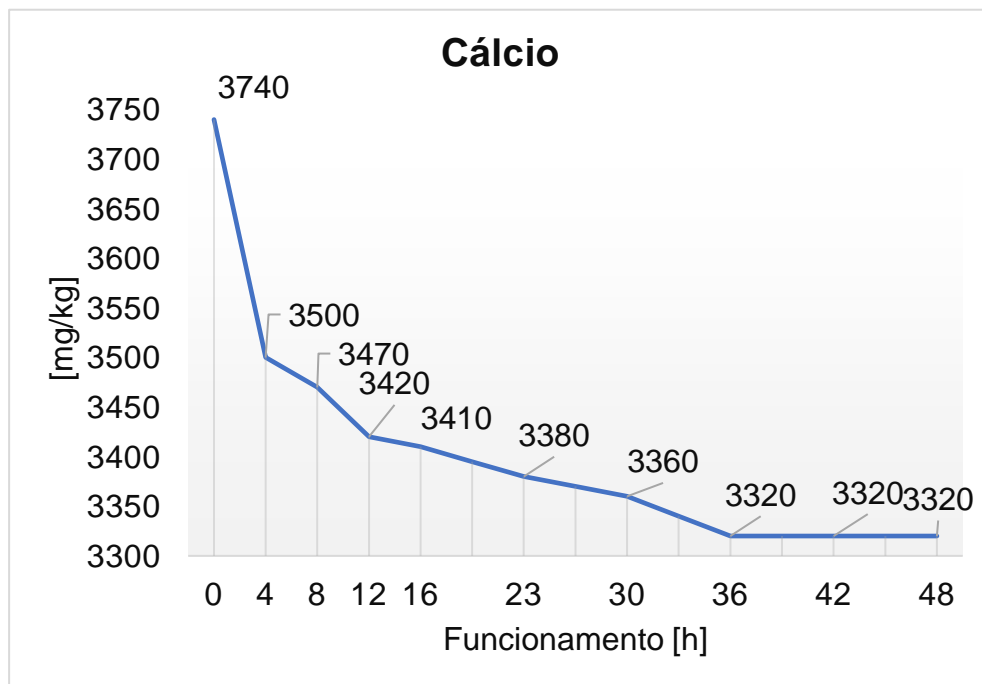
Gráfico 9 - Variação da fuligem



Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma observação importante é que não ocorreu contaminação do óleo lubrificante por água, o que indica a integridade do sistema de arrefecimento e a ausência de falhas que pudessem permitir a sua entrada no lubrificante.

Além disso, constatou-se uma redução na carga de aditivos, começando pelo cálcio. Como mostrado no Gráfico 10, houve uma diminuição de 420 mg/kg, o que corresponde a cerca de 11% nos níveis desse elemento. A referida redução indica uma diminuição na carga de aditivos do lubrificante, o que pode estar associado a diferentes fatores ou condições que intensificaram o consumo dos aditivos. Tal queda no teor de cálcio pode favorecer a degradação do óleo e, conseqüentemente, contribuir para sua eventual falha funcional, conforme verificado por (Tongchit *et al.*, 2018).

Gráfico 10 - Variação do Cálcio

Fonte: Elaborado pelo autor

Foi realizada a avaliação dos níveis de magnésio, na qual se observou uma redução de 6%, indicando possível diminuição da carga de aditivos presentes no óleo lubrificante. Em relação ao fósforo, constatou-se uma queda de 11% em seus teores, também sugerindo redução na carga aditiva e reforçando a hipótese de consumo anormal decorrente de fatores operacionais. Para o zinco, identificou-se uma redução de 6%, igualmente associada à diminuição da carga de aditivos e potencial comprometimento da eficácia dos agentes de proteção do motor (Tongchit *et al.*, 2018).

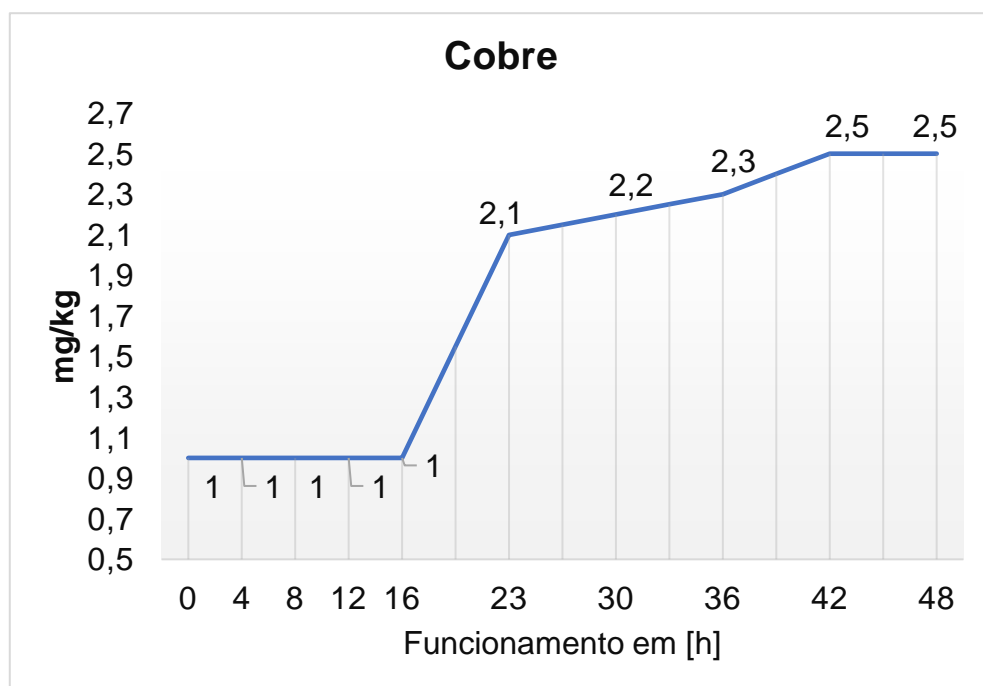
Verificou-se, ainda, uma redução de aproximadamente 3% nos teores de molibdênio, indicando consumo dos aditivos do lubrificante e sugerindo uma possível diminuição de sua eficiência na mitigação do desgaste. A análise do cádmio não revelou alterações significativas em sua concentração, permanecendo dentro dos limites esperados ao longo dos ensaios.

No que se refere ao manganês, constatou-se estabilidade dos teores durante todo o período avaliado, denotando ausência de desgaste dos componentes associados a esse elemento. Ressalta-se, entretanto, que eventuais oscilações nesse parâmetro podem estar vinculadas a anomalias operacionais, falhas na formulação ou desempenho dos aditivos, contaminação do lubrificante ou redução de sua eficiência funcional.

Os elementos titânio, vanádio, bário, cromo e chumbo também não apresentaram variações relevantes em seus índices, indicando que, nas condições experimentais estabelecidas, não houve desgaste significativo das ligas metálicas ou dos componentes correlacionados a esses metais.

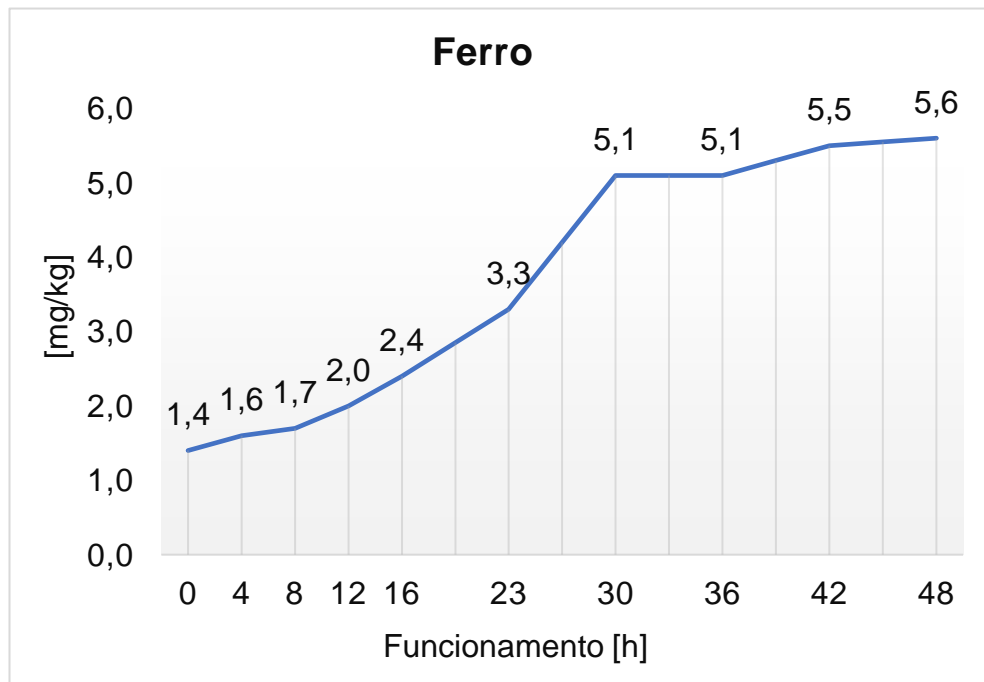
Em contraposição, observou-se um incremento de 1,5 mg/kg nos níveis de cobre, conforme ilustrado no Gráfico 11. Esse comportamento representa um sinal de alerta, podendo indicar condições anormais de operação ou desgaste acentuado de componentes do equipamento.

Gráfico 11 - Variação dos índices cobre



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com relação ao desgaste metálico, verificou-se um aumento de 3,9 mg/kg nos níveis de ferro, conforme apresentado no Gráfico 12. Esse incremento indica o início do processo de desgaste das superfícies metálicas em movimento relativo, sugerindo a ocorrência de atrito excessivo entre componentes do motor. Tal condição pode comprometer o desempenho do sistema lubrificante, resultando na redução da eficiência do filme lubrificante e, em estágios mais avançados, na possibilidade de falhas mecânicas associadas ao desgaste progressivo das partes móveis.

Gráfico 12 - Variação dos índices de ferro

Fonte: Elaborado pelo autor.

Verificou-se que os níveis de alumínio permaneceram estáveis, sem indícios de variações significativas ao longo do ensaio. Adicionalmente, as análises realizadas no óleo indicaram estabilidade nas concentrações de estanho e chumbo, que se mantiveram sem alterações relevantes nos respectivos teores expressos em mg/kg. Esses resultados sugerem a ausência de desgaste anômalo nos componentes associados a tais elementos, achado também relatado por Sentanuhady *et al.* (2023).

6 CONCLUSÃO

Na **primeira etapa** dos ensaios, com base nas análises experimentais, físico-químicas e tribológicas, constatou-se que o óleo lubrificante mineral apresentou desempenho satisfatório frente às condições operacionais impostas, evidenciando resistência inicial à contaminação por combustível. Entretanto, foram identificadas limitações quanto à estabilidade do pacote de aditivos, refletidas em alterações nas propriedades do lubrificante. Observou-se redução da viscosidade, com valores de 45,37 mm²/s a 40 °C e 3,57 mm²/s a 100 °C, além de decréscimo de 1,5 mg KOH/g no TBN e aumento da oxidação de 107 Abs/cm.

Adicionalmente, a análise físico-química demonstrou ser uma ferramenta preditiva eficaz, possibilitando a detecção precoce de processos de degradação do óleo e do desgaste de componentes móveis.

Na **segunda etapa do** estudo, manteve-se o mesmo lubrificante no motor MWM D229/4, o qual passou a operar com biodiesel de soja (B100). A substituição do combustível estabeleceu novas condições de operação para o sistema de lubrificação, evidenciando a necessidade de adequações na formulação do óleo. Com a utilização do B100, observou-se uma redução de aproximadamente 27,45% na viscosidade cinemática a 40 °C e de 14,28% a 100 °C, além de uma diminuição de 7,76% no número de base total (TBN). O ponto de fulgor apresentou queda de 52,55%, enquanto a oxidação aumentou em 88 Abs/cm e a fuligem em 7 Abs/cm. Verificou-se, ainda, redução na concentração de aditivos, com destaque para o cálcio, cuja queda foi de 420 mg/kg (cerca de 11%). Também foram registradas reduções de 6% no magnésio, 11% no fósforo, 6% no zinco e 3% no molibdênio. No que se refere ao desgaste, constatou-se um aumento de 3,9 mg/kg na concentração de ferro.

Essa análise mostrou-se fundamental para a compreensão de fenômenos associados à degradação do lubrificante, tais como a diminuição da viscosidade, o aumento da oxidação, a elevação dos teores de metais de desgaste, a intensificação da acidez e a redução do TBN. Embora não tenham sido realizadas modificações no motor ou no lubrificante antes dos ensaios, os resultados indicam a necessidade de aprimoramento da formulação, especialmente no que diz respeito à composição e à carga de aditivos, considerando seu consumo ao longo da operação.

Conclui-se que, apesar das alterações observadas nas propriedades do lubrificante durante os ensaios em bancada, seu desempenho permaneceu dentro de limites tecnicamente aceitáveis para a aplicação no motor avaliado, não sendo identificados impactos imediatos no funcionamento ou na continuidade operacional. Entretanto, verificou-se que os índices de degradação apresentaram tendência de aumento ao longo do tempo de operação e em função dos níveis de contaminação, o que sugere potencial para intensificação do desgaste dos componentes e, conseqüentemente, maior risco de falhas prematuras em condições prolongadas de uso.

6.1 Sugestão de trabalhos futuros

Recomenda-se, para trabalhos futuros, a investigação do uso de lubrificantes sintéticos, considerando sua maior estabilidade térmica, resistência à oxidação e comportamento tribológico superior em condições severas de operação. Sugere-se a avaliação do desempenho tribológico e das alterações físico-químicas desses lubrificantes em motores de ignição por compressão operando com biodiesel, contemplando os principais tipos atualmente utilizados. Para tal, torna-se necessária a realização de ensaios experimentais que possibilitem a comparação entre diferentes formulações de biodiesel, incluindo: biodiesel comercial (mistura padrão), biodiesel de semente de algodão, biodiesel de soja (novo e residual de fritura) e biodiesel de óleo de mamona. Dessa forma, será possível realizar uma análise comparativa da degradação do lubrificante, dos mecanismos de desgaste e da formação de depósitos, bem como dos impactos nos componentes do motor e da influência nas emissões geradas durante a operação.

REFERÊNCIAS

- AGARWAL, A. K. J.; BIJWE, L. M.** Avaliação do desgaste em um motor de ignição por compressão movido a biodiesel. *Journal of Engineering for Gas Turbines e Power*, v. 125, n. 3, p. 820-826, 2003. DOI: 10.1115/1.1501079.
- AGARWAL, Avinash Kumar.** Lubricating oil tribology of a biodiesel-fuelled compression ignition engine. In: *INTERNAL COMBUSTION ENGINE DIVISION SPRING TECHNICAL CONFERENCE*, 2003, Salzburg, Austria. Proceedings [...]. [New York]: ASME, 2003. p. 751-765.
- AHARONOVICH, S.; DIESENDRUCKÝ, C. E.** Single chain polymer nanoparticles as shear-resilient viscosity modifiers for lubricating oils. *Reactive and Functional Polymers*, v. 131, p. 237-242, Oct. 2018.
- ALMEIDA, P. S.** Lubrificação industrial. São Paulo: Saraiva, 2017.
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE.** Categorias de óleo. Washington, DC: API, 2021. Disponível em: <https://www.api.org/products-and-services/pt/eolcs-oil-categories#tab-gasoline>. Acesso em: 28 out. 2022.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.** ASTM D1500 Standard Test Method for Determining Oil Color. West Conshohocken, United States: ASTM, 2016.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.** ASTM D6304-16 Standard Test Method for Determination of Water in Petroleum Products, Lubricating Oils, and Additives by Coulometric Karl Fischer Titration. West Conshohocken, United States: ASTM, 2016.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.** ASTM D943-04 Standard Test Method for Oxidation Characteristics of Inhibited Mineral Oils. West Conshohocken, United States: ASTM, 2004.
- ARVIND, P.; KUMAR, N. A.** Experimental investigation of lubricant oil tribology and cylinder liner wear in a compression ignition engine fueled with biodiesel. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, v. 76, p. 2557–2566, 2023.
- BEZERRA, K. S. et al.** Monitoring of lubricating oils used in diesel engine by biodiesel contamination from fuel dilution. *Lubrication Science*, v. 33, n. 8, p. 432-438, Sep. 2021. DOI: 10.1002/lis.1564.
- BRUNETTI, Franco.** Motores de Combustão Interna. São Paulo: Blucher, 2012.
- CARRETEIRO, R. P.; BELMIRO, P. N. A.** Lubrificantes e lubrificação industrial. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.
- CHYBOWSKI, L.; KOWALAK, P.; DABROWSKI, P.** Assessment of the impact of lubricating oil contamination by biodiesel on trunk piston engine reliability. *Energies*, v. 16, n. 13, p. 5056, Jun. 2023. DOI: 10.3390/en16135056.

DAHDAH, S. et al. Scuffing initiation caused by local starvation in a piston ring cylinder liner contact. *Tribology International*, v. 172, 107616, Aug. 2022. DOI: 10.1016/j.triboint.2022.107616.

DEHERI, C. et al. A review on performance of biogas and hydrogen on diesel engine in dual fuel mode. *Fuel*, v. 260, p. 116337, Jan. 2020.

ESPEJO, C. et al. The role of MoDTC tribochemistry in engine tribology performance. A Raman microscopy investigation. *Tribology International*, v. 150, p. 106366, 2020. DOI: 10.1016/j.triboint.2020.106366.

EUCEMAN, Gary et al. Gas chromatography. *Analytical Chemistry*, v. 78, n. 12, p. 3985-3996, 1994.

GONÇALVES, A. C. et al. Assistance of analytical ferrography in the interpretation of wear test results carried out with biolubricants. *Tribology International*, v. 197, 109758, Sep. 2024.

GOPAL, K. N.; RAJ, R. T. K. Effect of pongamia oil methyl ester–diesel blend on lubricating oil degradation of DI compression ignition engine. *Fuel*, v. 165, p. 105-114, Feb. 2016.

GUESSASMA, M.; MACHADO, C. Three-dimensional DEM modelling of ball bearing with lubrication regime prediction. *Lubricants*, v. 6, n. 2, p. 46, 2018.

GUPTA, J. G.; AGARWAL, A. K. Engine durability and lubricating oil tribology study of a biodiesel fuelled common rail direct injection medium-duty transportation diesel engine. *Wear*, v. 486/487, p. 204104, Dec. 2021.

HASAN, M. M.; RAHMAN, M. M. Performance and emission characteristics of biodiesel–diesel blend and environmental and economic impacts of biodiesel production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 74, p. 938–948, 2017. DOI: 10.1016/j.rser.2017.03.045.

HUTCHINGS, I.; SHIPWAY, P. Tribology: friction and wear of engineering materials. 2. ed. Cambridge, UK: 2017.

ISWANTORO, A. et al. The effect of use of biodiesel B30 from palm oil to degradation of oil lubrication in 1-cylinder diesel engine 4-stroke. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, v. 649, 2021.

JUSTINO, Marco Aurélio Mendes. Desempenho de um grupo motor-gerador alimentado com óleo diesel, gás natural e hidrogênio. 2012. Dissertação (Mestrado) – PUC Minas, Belo Horizonte, 2012.

JUSTINO, Marco Aurélio Mendes. Operação dinâmica de um grupo motor-gerador nos ciclos diesel e otto sem alterar a razão volumétrica de compressão. 2018. Tese (Doutorado) – PUC Minas, Belo Horizonte, 2018.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. Manutenção preditiva: fator de sucesso na gestão empresarial. Rio de Janeiro: QualityMark, 2013.

KIMURA, R. K. Uso da técnica de análise de óleo lubrificante em motores diesel

estacionários utilizando-se misturas de biodiesel e diferentes níveis de contaminação. 2010. Dissertação (Mestrado) – UNESP, São Paulo, 2010.

KNOTHE, G. et al. Manual de Biodiesel. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

KURRE, S. K.; GARG, R.; PANDEY, S. A review of biofuel-generated contamination, engine oil degradation and engine wear. *Biofuels*, v. 8, n. 2, p. 273-280, 2017.

KURRE, S. K. et al. Study of lubricating oil degradation of CI engine fueled with diesel-ethanol blend. *Tribology in Industry*, v. 43, n. 2, p. 222–231, 2021.

LIU, S. et al. Effect of a cetane number improver on combustion and emission characteristics of a CI engine fueled with ethanol–diesel blend. *Energy & Fuels*, v. 24, n. 4, p. 2449-2454, 2010.

MELO, Maristela Lopes Silva. Avaliação da qualidade dos óleos básicos rerrefinados brasileiros e a determinação de metais por espectrometria de fluorescência de raios X. 2015. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

MILANO, Jassinnee et al. Tribological study on the biodiesel produced from waste cooking oil... *Energy Reports*, v. 8, p. 1578-1590, 2021.

MOREIRA, V. G. Desempenho e emissões de um grupo motor-gerador originalmente Diesel convertido para Otto operando com Etanol hidratado. 2018. Dissertação (Mestrado) – PUC Minas, Belo Horizonte, 2018.

MORI, K. et al. Influence of biodiesel fuel on lubricant oil oxidative degradation. *SAE Technical Paper*, 2015-01-2030, 2015.

OLIVEIRA, Alex. Desempenho e emissões de um motor Diesel utilizando diferentes técnicas de injeção de etanol. 2015. Dissertação (Mestrado) – PUC Minas, Belo Horizonte, 2015.

PARDO-GARCÍA, C.; ABRIL, S.; PABÓN-LEÓN, J. Investigation of emission characteristics and lubrication oil properties in a dual diesel–hydrogen engine. *Lubricants*, v. 10, n. 4, p. 59, 2022.

PARKER. Normas e padrões (ISO 4406 e NAS 1638) no controle da contaminação. 2019. Disponível em: <https://www.vemag.com.br/novo/wp-content/uploads/2019/03/Normas-de-Controle-de-Contamina%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 22 out. 2022.

PEREIRA, F. M. M. Estudo da degradação do óleo lubrificante em motores alimentados com Biodiesel B100. 2015. Dissertação (Mestrado) – UTFPR, Curitiba, 2015.

PEREIRA, S. L.; MATTOS, L. R. S.; ARIZA, O. J. C. A study of lubricant oil degradation in diesel engines by computational simulation. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING, SCIENCE, AND INDUSTRIAL APPLICATIONS*, 2019, Tokyo.

PETROLEUM QUALITY INSTITUTE OF AMERICA. The New API SP/ILSAC GF-6A/6B. PQIA, 2021.

PETRONAS. Petronas Urania 3000 SE 15W-40. Product Data Sheet, 2020.

PROFITO, F. J. Effect of lubricant viscosity and friction modifier on reciprocating tests. *SAE Technical Paper*, 2013-36-0155, 2013.

REJOWSKI, E. D.; TOMANIK, E.; SOUZA, J. P. Low viscosity oils impact on heavy duty diesel engine components. In: *SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA*, 2016.

SANTOS JUNIOR, A. A. Determinação de parâmetros de óleos lubrificantes... 2011. Dissertação (Mestrado) – UnB, Brasília, 2011.

SAPUTRO, W. et al. Analysis of combustion temperature using B100 and B20. *BIOMEJ*, v. 2, n. 1, 2022.

SENTANUHADY, J. et al. Degradation of quality and contaminants in lubricants of diesel engine fueled by B100... *Int. Journal of Energy for a Clean Environment*, v. 24, n. 5, 2023.

SENTANUHADY, J. et al. Analisis Pengaruh Biodiesel B20... *TEKNIK*, v. 41, n. 3, p. 269-274, 2020.

SILVA, M. T. Santos. Estudo do comportamento tribológico do lubrificante mineral 15W40 contaminado por biodiesel. 2018. Dissertação (Mestrado) – UFRN, Natal, 2018.

SONG, H. et al. Biodiesel promotes iron-catalyzed oxidation of engine lubricating oil. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 62, n. 23, p. 9054–9061, 2023.

TAYLOR, O. et al. Tribological Behavior of Low Viscosity Lubricants in the Piston to Bore Zone of a Modern Spark Ignition Engine. *SAE Technical Paper* 2014-01-2859, 2014.

TORBACKE, M.; RUDOLPHI, Å. K.; KASSFELDT, E. Lubricants: introduction to properties and performance. New Jersey: Wiley, 2014.

VALENTE, Osmano Souza. Desenvolvimento de método para determinação do número de cetano... 2016. Dissertação (Mestrado) – PUC Minas, Belo Horizonte, 2016.

VAN DAM, Wim et al. Observations from cylinder liner wear studies in heavy duty diesel engines. *SAE Technical Paper*, 2011-01-1207, 2011.

VAN DAM, Wim et al. Taking heavy duty diesel engine oil performance to the next level (Part 2). *SAE Technical Paper*, 2014-01-2795, 2014.

VAN DAM, Wim; BOOTH, J.; PARSONS, G. Taking heavy duty diesel engine oil performance to the next level (Part 1). *SAE Technical Paper*, 2014-01-2792, 2014.

VAN GERPEN, J. H. et al. Determining the influence of contaminants on biodiesel

properties. Iowa State University, 1996.

ZANATTA, V. B. V.; TEIXEIRA, R. M.; VISCARDI, S. L. C. Diluição por Biodiesel em óleos lubrificantes utilizando cromatografia gasosa. In: *CONGRESSO DE ANALÍTICA DA AMÉRICA LATINA*, 2011.

Wolak, A., Molenda, J., Fijorek, K., & Łankiewicz, B. (2022). Prediction of the Total Base Number (TBN) of Engine Oil by Means of FTIR Spectroscopy. *Energies*, 15(8), 2809.

ZHU, Lei et al. Effects of ethanol–biodiesel blends and DOC on particulate emissions. *Fuel*, v. 113, p. 690-696, 2013.

APENDICE A - STATUS DAS ANÁLISES POR ITEM

RESULTADO DA S ANÁLISES DO ÓLEO - Urania 3000 SE_ SAE 15W_40 (API CI-4 /CH-4. API SL)									
Produto	3000 SE	3000 SE	3000 SE	3000 SE	3000 SE	3000 SE	3000 SE		
No Amostra	S-220725 00099	S-220725 00100	S-220725 00101	S-220725 00102	S-220725 00103	S-220725 00104	S-220725 00105		
Data Coleta	11/07/2022	18/07/2022	19/07/2022	19/07/2022	19/07/2022	20/07/2022	21/07/2022		
Tempo de uso (horas)	0	1	2	3	5	6	7		
RESULTADO DA S ANÁLISES									
ITENS	Propriedade	NOVO	S10	B50 E50	B40 E60	B60 E40	D S1050 E50	D S1050 E50	OBSERVAÇÕES
1	Cor	Castanho	Preto	Preto	Preto	Preto	Preto	Preto	Escurecimento
2	Aspecto	Límpido	Típico	Típico	Típico	Típico	Típico	Típico	Sem alteração
3	Viscosidade@40°C - mm ² /s	112,7	101,8	89,19	76,29	68,44	67,05	67,33	Redução, indicação de degradação
4	Viscosidade@100°C - mm ² /s	14,24	13,69	12,68	11,5	10,79	10,69	10,67	Redução, indicação de degradação
5	Índice de viscosidade	128	135	139	143	147	149	148	Aumento, indicação de contaminação
6	TBN mg KOH/g	12	11,4	11,2	10,7	10,7	10,4	10,5	Queda, indicação de degradação
7	Oxidação - ppm	0	3	32	73	106	108	108	Aumento, indicação de degradação
8	Sulfatação - ppm	0	0	4	7	10	10	11	Aumento, indicação de degradação
9	Nitração - ppm	0	0	2	3	5	5	5	Aumento, indicação de degradação
10	Fuligem - ppm	0,1	0,1	0,1	2,1	5,1	5,1	6,1	Aumento, indicação de contaminação
11	Água - ppm	0	0	0	0	0	0	0	Sem alteração
12	Diluição por Diesel - ppm	0	2,8	4	5,7	6,3	6,5	6,4	Aumento, indicação de degradação
13	Mix Diesel + Biodiesel - ppm	0	4	6,3	9,5	11,6	11,9	11,6	Aumento, indicação de degradação
14	Sílica - ppm	8	7	7	7	8	7	7	Sem alteração
15	Sódio - ppm	1	1	1	1	1	1	1	Sem alteração
16	Cálcio - ppm	1430	1520	1380	1350	1320	1270	1270	Queda, indicação de degradação
17	Magnésio - ppm	1346	1425	1297	1276	1243	1204	1197	Queda, indicação de degradação
18	Fósforo - ppm	1280	1360	1240	1210	1180	1140	1130	Queda, indicação de degradação
19	Zinco - ppm	1550	1640	1480	1460	1420	1380	1370	Queda, indicação de degradação
20	Molibidênio - ppm	59	60	54	53	52	49	50	Queda, indicação de degradação
21	Ferro - ppm	1	7	9	14	16	17	16	Aumento, indicação de desgaste
22	Alumínio - ppm	0	2	1	2	2	3	2	Aumento, indicação de desgaste
23	Cromo - ppm	1	4	7	11	16	17	17	Aumento, indicação de desgaste
24	Cobre - ppm	0	0	0	1	1	1	1	Aumento, indicação de desgaste
25	Estanho - ppm	2	4	6	8	10	11	11	Aumento, indicação de desgaste
26	Chumbo - ppm	0	0	0	1	1	1	1	Aumento, indicação de desgaste

ANEXO A – PRODUCT DATA SHEET

Product Data Sheet

Revisado: 20/07/2020 (rev. 03)



PETRONAS

PETRONAS Urania 3000 15W-40

Desenvolvido com a tecnologia StrongTech™ para permanecer forte por mais tempo

PETRONAS Urania com tecnologia StrongTech™ é um lubrificante para motores diesel desenvolvido para estar sempre forte para o trabalho. Seu resistente filme lubrificante auxilia no aumento dos intervalos de troca e da vida útil do motor, maximizando a performance e garantindo a força que você precisa para se manter em movimento.

Descrição e Aplicação

PETRONAS Urania 3000 15W-40 é um lubrificante mineral para motor formulado com a tecnologia StrongTech™, projetado para permanecer forte por mais tempo, formando um filme lubrificante excepcionalmente robusto para maximizar os períodos de troca e a vida do motor, melhorar o desempenho e manter seu negócio e veículos em movimento. Isso contribui para a extensão da vida útil do motor e redução do custo total de propriedade.

PETRONAS Urania 3000 15W-40 é indicado para todos os tipos de veículos pesados equipados com motores a diesel, incluindo motores modernos de alta potência equipados com sistemas de controle de emissões como SCR e EGR. É indicado também tanto para motores diesel novos quanto motores antigos, turbinados ou naturalmente aspirados, de uso rodoviário ou off-road, abastecidos com diesel ou biodiesel.

Benefícios

Em serviço, PETRONAS Urania 3000 15W-40 proporciona os seguintes benefícios:

- **Mantém a viscosidade do lubrificante em níveis ótimos**, entregando ótima lubrificação para prevenir paradas inesperadas
- **Extensão da vida útil do motor e do lubrificante** devido a:
 - o Excelente controle na formação de depósitos, otimizando o desempenho da frota
 - o Redução dos níveis ácidos que levam à corrosão, tornando os motores da frota mais duráveis

Promove excelente experiência de condução por meio do:

- **Ótimo combate à formação e acúmulo de fuligem**, fator crítico para prevenir a perda de potência do motor
- **Boa viscosidade a baixas temperaturas** para melhor lubrificação durante a partida

Especificações de Performance

PETRONAS Urania 3000 15W-40 atende ou supera as seguintes especificações:

- | | |
|-----------------------|-----------------------------------|
| • SAE 15W-40 | • Cummins CES 20076, 20077, 20078 |
| • API CI-4, CH-4 SL | • Caterpillar ECF-2 |
| • ACEA E7 | • Deutz DQC-III, DQC-II |
| • MB 228.3 | • MTU Category 2 |
| • Volvo VDS-3 | • Global DHD-1 |
| • MAN 3275 | • JASO DH-1 |
| • Renault RLD-2, RD-2 | • Detroit Diesel DSF 93K215 |
| • Mack EO-M+, EO-N | |

Nota: Sempre consulte o manual do proprietário de seu veículo para verificar as especificações recomendadas pelo fabricante.

Propriedades Típicas			
Parâmetro	Método	Unidade	Valor
Cor	ASTM D1500	-	3,0
Aspecto	MAI 098	-	Límpido
Densidade 15°C	ASTM D4052	g/cm ³	0,8750
Viscosidade a 100°C	ASTM D7042	mm ² /s (cSt)	15,0
Viscosidade a 40°C	ASTM D7042	mm ² /s (cSt)	112
Índice de Viscosidade (IV)	ASTM D2270	-	140
C.C.S a -20°C	ASTM D5293	cP	6.100
Ponto de Fluidez	ASTM D97	°C	-30
Ponto de Fulgor VAC	ASTM D92	°C	240
TBN	ASTM D2896	mg KOH/g	11,5
Cinzas Sulfatadas	ASTM D874	%	1,2

Todos os dados técnicos disponíveis são para referência apenas. Essas são características da produção atual. Produções futuras irão estar conforme a especificação da PLI, porém variações nessas características podem ocorrer.

Saúde e Segurança

Para evitar danos ao indivíduo ou ao meio ambiente, utilize esse produto de forma adequada e siga corretamente as indicações do fabricante do equipamento. Evite contato direto com a pele. Lave imediatamente com água e sabão em caso de contato direto com a pele. Não descarte em rede de esgoto, solo ou água.







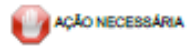


Para maiores informações, solicite a "Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ)" através do nosso SAC. Visite nosso site www.pli-petronas.com.br










Observação importante

A palavra PETRONAS, o logo PETRONAS e outras marcas comerciais e/ou marcas utilizadas neste documento são marcas comerciais ou marcas comerciais devidamente registradas e de propriedade da PETRONAS Lubricants International Sdn. Bhd. ("PLISB"), ou de suas subsidiárias ou empresas do Grupo PETRONAS (salvo indicação contrária). Os Documentos pertencentes à PLISB e as informações aqui contidas são consideradas válidas a partir da data de sua revisão. A PLISB não garante de forma expressa ou implícita, quanto a precisão ou integridade das informações contidas no documento em qualquer transação efetuada por terceiros. As informações dos documentos PLISB fornecidas são baseadas em testes padrões feitos em laboratório e são fornecidas apenas como orientação. Recomenda-se que os Usuários tenham certeza de que estão consultando a versão mais recente destes Documentos da PLISB. É de responsabilidade dos usuários avaliarem e usarem os produtos com segurança, e de forma adequada à utilização pretendida, observando todas as leis aplicáveis e regulamentações impostas pelas respectivas autoridades locais, para utilização dos mesmos.









As Fichas de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) estão disponíveis para todos os nossos produtos e devem ser consultadas apenas para informações apropriadas em relação ao armazenamento, manuseio e descarte do produto. Nenhuma responsabilidade será assumida pela PLISB ou suas subsidiárias e sociedades do Grupo Petronas por nenhuma perda ou danos ou prejuízos diretos, indiretos, ou nenhum tipo de prejuízo, seja decorrente de contratos, negligência ou outra ação ilícita, ligada ou resultante a um uso anormal dos materiais e/ou informação, bem como por nenhuma negligência em aderir às recomendações dos materiais e/ou informações, ou por riscos inerentes à natureza dos materiais e/ou informação. Todos os produtos, serviços e informações fornecidas estão sob nossas condições e padrão de venda. Consulte algum dos nossos representantes locais caso necessite de informações adicionais.










ANEXO B – S-220725 00099 - ÓLEO NOVO

RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-220725-00099	
Petronas Lubrificantes Brasil Sa Av. Trajano de Araújo Viana, 2500 - Cinco 32010-090 Contagem (MG), BRAZIL E-Mail: wellington.freitas@pl-petronas.com	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de Identificação: Novo Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: 22S14 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-220725-00099
Resultado	
Número EVERLUB	1020015916
Data de Coleta	11/07/2022
Data de Chegada	25/07/2022
Data de Análise	30/07/2022
Horas do Veículo	-
Horas óleo	0
Cor	(Visual) Castanho
Aspecto	(MIL 98 Rev 02) Limpo
Viscosidade a 100°C, mm²/s	(ASTM D445-21) 14,24
Viscosidade a 40°C, mm²/s	(ASTM D445-21) 112,7
Índice de viscosidade	(ASTM D2272) 128
TBN, mg KOH/g	(ASTM D2896-15) 12,0
Calcio, ppm	(ASTM D5185-18) 1430
Magnésio, ppm	(ASTM D5185-18) 1346
Fósforo, ppm	(ASTM D5185-18) 1280
Zinco, ppm	(ASTM D5185-18) 1550
Molibdênio, ppm	(ASTM D5185-18) 29
Cádmio, ppm	(ASTM D5185-18) 0
Manganês, ppm	(ASTM D5185-18) 0
Titânio, ppm	(ASTM D5185-18) 0
Vanádio, ppm	(ASTM D5185-18) 4
Bário, ppm	(ASTM D5185-18) 0
Ferro, ppm	(ASTM D5185-18) 1
Cromo, ppm	(ASTM D5185-18) 1
Chumbo, ppm	(ASTM D5185-18) 0
Cobalto, ppm	(ASTM D5185-18) 0
Estanho, ppm	(ASTM D5185-18) 2
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório	
Sample Notes	
Conclusões das análises	
	Análises realizadas para estudo de desempenho em um motor adaptado. Os resultados estão sob investigação considerando o andamento do teste.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos testes analíticos são apresentados conforme o método referenciado. 4 - A exatidão de incerteza de medição é conhecida e encoberta se solicitado. 5 - Amostra coletada pelo cliente. 6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das análises é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente e contrato do serviço.	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
	PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A. - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL
ID de Revisão do Relatório: 1044906-1	página 1 de 2
	Data de Impressão: 03/08/2022









RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-220725-00099	
Petronas Lubrificantes Brasil Sa Av. Trajano de Araújo Viana, 2500 - Cinco 32010-090 Contagem (MG), BRAZIL E-Mail: wellington.freitas@pl-petronas.com	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de identificação: Novo Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: 22S14 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-220725-00099
Resultado	
Número EVERLUB	1020015916
Data de Coleta	11/07/2022
Data de Chegada	25/07/2022
Data de Análise	30/07/2022
Horas do Veículo	-
Horas óleo	0
Alumínio, ppm (ASTM D5185-18)	0
Níquel, ppm (ASTM D5185-18)	0
Prata, ppm (ASTM D5185-18)	1
Silica, ppm (ASTM D5185-18)	8
Sódio, ppm (ASTM D5185-18)	1
Fuligem, Abso/m (ASTM E 2812-12 (2018))	0.1
Oxidação, Abso/m (ASTM E 2412-1)	0.0
Nitração, Abso/m (ASTM D1414)	0.0
Sulfatação, Abso/m (ASTM E 2412-1)	0.0
Teor De Água (NIR 15304)	Ausente
Diluição por combustível (diesel), % (ASTM D1300)	0.0
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório	
Sample Notes	
Conclusões das análises	
	Análises realizadas para estudo de desempenho em um motor adaptado. Os resultados estão sob investigação considerando o andamento do teste.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os resultados sem as amostras não representam confirmação e validade referenciada. 4 - A exatidão de leitura de medição é controlada e encoberta se solicitado. 5 - Amostras coletadas pelo cliente. 6 - O prazo de entrega é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após o término das análises. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço.	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
	PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A. - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL
ID de Revisão do Relatório: 1044506-1	página 2 de 2
	Data de Impressão: 03/09/2022









ANEXO C – S-220725 00100 – S10

RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-220725-00100	
Petronas Lubrificantes Brasil Sa Av. Trajano de Araújo Viana, 2500 - Cinco 32010-090 Contagem (MG), BRAZIL E-Mail: wellington.freitas@pli-petronas.com	 PETRONAS
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de Identificação: Diesel S10 Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: 229/4 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-220725-00100
Resultado	✔
Número EVERLUB	1020015916
Data de Coleta	18/07/2022
Data de Chegada	25/07/2022
Data de Análise	30/07/2022
Horas do Veículo	-
Horas óleo	1
Cor	(Visual) Preto
Aspecto	(MAI 096-Rev.03) Típico de óleo usado
Viscosidade a 100°C, mm ² /s	(ASTM D445 21) 13,69
Viscosidade a 40°C, mm ² /s	(ASTM D445 21) 101,8
Índice de viscosidade	(ASTM D2270) 135
TBN, mg KOH/g	(ASTM D2896 15 Prec A) 11,4
Cálcio, ppm	(ASTM D6185 16) 1520
Magnésio, ppm	(ASTM D6185 16) 1425
Fósforo, ppm	(ASTM D6185 16) 1360
Zinco, ppm	(ASTM D6185 16) 1640
Molibdênio, ppm	(ASTM D6185 16) 60
Cádmio, ppm	(ASTM D6185 16) 0
Manganês, ppm	(ASTM D6185 16) 0
Titânio, ppm	(ASTM D6185 16) 0
Vanádio, ppm	(ASTM D6185 16) 4
Bário, ppm	(ASTM D6185 16) 0
Ferro, ppm	(ASTM D6185 16) 7
Cromo, ppm	(ASTM D6185 16) 4
Chumbo, ppm	(ASTM D6185 16) 0
Cobre, ppm	(ASTM D6185 16) 0
Estanho, ppm	(ASTM D6185 16) 4
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório	
Sample Notes	
Conclusões das análises	
	Análises realizadas para estudo de desempenho em um motor adaptado. Os resultados estão sob investigação considerando o andamento do teste.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos nestes ensaios são apresentados conforme o método referenciado. 4 - A exatidão da incerteza de medição é conhecida e encaminhada se solicitado. 5 - Amostras coletadas pelo cliente. 6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço.	 <hr/> Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
	PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL
ID de Revisão do Relatório: 1044907-1	página 1 de 2
	Data de Impressão: 03/08/2022










RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-220725-00100	
Petronas Lubrificantes Brasil Sa Av. Trajano de Araújo Viana, 2500 - Cinco 32010-090 Contagem (MG), BRAZIL E-Mail: wellington.freitas@pli-petronas.com	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de Identificação: Diesel S10 Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: 229/4 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-220725-00100
Resultado	
Número EVERLUB	1020015916
Data de Coleta	18/07/2022
Data de Chegada	25/07/2022
Data de Análise	30/07/2022
Horas do Veículo	-
Horas óleo	1
Alumínio, ppm (ASTM D6185 18)	2
Níquel, ppm (ASTM D6185 18)	0
Prata, ppm (ASTM D6185 18)	0
Silício, ppm (ASTM D6185 18)	7
Sódio, ppm (ASTM D6185 18)	1
Fuligem, Abs/cm (ASTM E 2412 10 2018)	0.1
Oxidação, Abs/cm (ASTM E 2412 / ASTM D7414)	3.0
Nitração, Abs/cm (ASTM E 2412 / ASTM D7624)	0.0
Sulfatação, Abs/cm (ASTM E 2412 / ASTM D7415)	0.0
Teor De Água (NBR 15358)	Ausente
Diluição por combustível (diesel), % (ASTM D7593)	2.8
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório	
Sample Notes	
Conclusões das análises	
	Análises realizadas para estudo de desempenho em um motor adaptado. Os resultados estão sob investigação considerando o andamento do teste.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de ensaio só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos testes ensaios não apresentados conforme o método referenciado. 4 - A estimativa de incerteza de medição é correta e encaminhada se solicitado. 5 - Amostra coletada pelo cliente. 6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço.	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
	PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL
ID de Revisão do Relatório: 1044907-1	página 2 de 2 Data de Impressão: 03/08/2022










ANEXO D – S-220725-00101– BIODIESEL + ETANOL 50/50

RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-220725-00101	
Petronas Lubrificantes Brasil Sa Av. Trajano de Araújo Viana, 2500 - Cinco 32010-080 Contagem (MG), BRAZIL E-Mail: wellington.freitas@pli-petronas.com	 PETRONAS
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de Identificação: Biodiesel + Etanol 50/50 Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: 229/4 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-220725-00101
Resultado	✔
Número EVERLUB	1020015916
Data de Coleta	18/07/2022
Data de Chegada	25/07/2022
Data de Análise	30/07/2022
Horas do Veículo	-
Horas óleo	2
Cor	(Visual) Preto
Aspecto	(MAI 096-Rev.03) Típico de óleo usado
Viscosidade a 100°C, mm ² /s	(ASTM D445 21) 12.68
Viscosidade a 40°C, mm ² /s	(ASTM D445 21) 89.19
Índice de viscosidade	(ASTM D2270) 139
TBN, mg KOH/g	(ASTM D2896 15 Proc A) 11.2
Calcio, ppm	(ASTM D5185 16) 1380
Magnésio, ppm	(ASTM D5185 16) 1297
Fósforo, ppm	(ASTM D5185 16) 1240
Zinco, ppm	(ASTM D5185 16) 1480
Molibdênio, ppm	(ASTM D5185 16) 54
Cádmio, ppm	(ASTM D5185 16) 0
Manganês, ppm	(ASTM D5185 16) 0
Titânio, ppm	(ASTM D5185 16) 0
Vanádio, ppm	(ASTM D5185 16) 4
Bário, ppm	(ASTM D5185 16) 0
Ferro, ppm	(ASTM D5185 16) 9
Cromo, ppm	(ASTM D5185 16) 7
Chumbo, ppm	(ASTM D5185 16) 0
Cobre, ppm	(ASTM D5185 16) 0
Estanho, ppm	(ASTM D5185 16) 6
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório	
Sample Notes	
Conclusões das análises	
	Análises realizadas para estudo de desempenho em um motor adaptado. Os resultados estão sob investigação considerando o andamento do teste.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos nestas análises são apresentados conforme o método referenciado. 4 - A estimativa de incerteza de medição é conhecida e encimada se solicitado. 5 - Análise cobrada pelo cliente. 6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço.	 <hr/> Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
	PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL
ID de Revisão do Relatório: 1044908-1	página 1 de 2
	Data de Impressão: 03/08/2022










RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-220725-00101	
Petronas Lubrificantes Brasil Sa Av. Trajano de Araújo Viana, 2500 - Cinco 32010-090 Contagem (MG), BRAZIL E-Mail: wellington.freitas@pli-petronas.com	 PETRONAS
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de Identificação: Biodiesel + Etanol 50/50 Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: 229/4 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-220725-00101
Resultado	✓
Número EVERLUB	1020015916
Data de Coleta	18/07/2022
Data de Chegada	25/07/2022
Data de Análise	30/07/2022
Horas do Veículo	-
Horas óleo	2
Alumínio, ppm (ASTM D6185 10)	1
Níquel, ppm (ASTM D6185 10)	0
Prata, ppm (ASTM D6185 10)	0
Silício, ppm (ASTM D6185 10)	7
Sódio, ppm (ASTM D6185 10)	1
Fuligem, Abs/cm (ASTM E 2412 10 2018)	0,1
Oxidação, Abs/cm (ASTM E 2412 / ASTM D7414)	32,0
Nitração, Abs/cm (ASTM E 2412 / ASTM D7524)	2,0
Sulfatação, Abs/cm (ASTM E 2412 / ASTM D7415)	4,0
Teor De Água (NBR 16358)	Ausente
Diluição por combustível (diesel), % (ASTM D7593)	4,0
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório	
Sample Notes	
<h3>Conclusões das análises</h3>	
	Análises realizadas para estudo de desempenho em um motor adaptado. Os resultados estão sob investigação considerando o andamento do teste.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de ensaio só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos nestes ensaios são apresentados conforme o método referenciado. 4 - A exatidão da incerteza de medição é conhecida e encerrada se solicitado. 5 - Amostras coletadas pelo cliente. 6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço.	 <hr/> Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
	PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL
ID de Revisão do Relatório: 1044908-1	página 2 de 2
	Data de Impressão: 03/08/2022










ANEXO E – S-220725-00102 – BIODIESEL + ETANOL 40/60

RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-220725-00102	
Petronas Lubrificantes Brasil Sa Av. Trajano de Araújo Viana, 2500 - Cinco 32010-090 Contagem (MG), BRAZIL E-Mail: wellington.freitas@pli-petronas.com	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de Identificação: Biodiesel + Etanol 40/60 Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: 229/4 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-220725-00102
Resultado	
Número EVERLUB	1020015916
Data de Coleta	18/07/2022
Data de Chegada	25/07/2022
Data de Análise	30/07/2022
Horas do Veículo	-
Horas óleo	3
Cor	(Visual) Preto
Aspecto	(MAI 096-Rev.03) Típico de óleo usado
Viscosidade a 100°C, mm ² /s	(ASTM D445 21) 11.50
Viscosidade a 40°C, mm ² /s	(ASTM D445 21) 76.29
Índice de viscosidade	(ASTM D2270) 143
TBN, mg KOH/g	(ASTM D2296 15 Proc.A) 10.7
Cálcio, ppm	(ASTM D6185 10) 1350
Magnésio, ppm	(ASTM D6185 10) 1276
Fósforo, ppm	(ASTM D6185 10) 1210
Zinco, ppm	(ASTM D6185 10) 1460
Molibdênio, ppm	(ASTM D6185 10) 53
Cádmio, ppm	(ASTM D6185 10) 0
Manganês, ppm	(ASTM D6185 10) 0
Titânio, ppm	(ASTM D6185 10) 0
Vanádio, ppm	(ASTM D6185 10) 4
Bário, ppm	(ASTM D6185 10) 0
Ferro, ppm	(ASTM D6185 10) 14
Cromo, ppm	(ASTM D6185 10) 11
Chumbo, ppm	(ASTM D6185 10) 1
Cobre, ppm	(ASTM D6185 10) 1
Estanho, ppm	(ASTM D6185 10) 8
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório	
Sample Notes	
Conclusões das análises	
	Análises realizadas para estudo de desempenho em um motor adaptado. Os resultados estão sob investigação considerando o andamento do teste.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos reais ensaios são apresentados conforme o método referenciado. 4 - A estimativa de incerteza de medição é conhecida e encimada se solicitado. 5 - Amostra coletada pelo cliente. 6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço.	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
	PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL
ID de Revisão do Relatório: 1044909-1	página 1 de 2
	Data de Impressão: 03/08/2022









RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-220725-00102	
Petronas Lubrificantes Brasil Sa Av. Trajano de Araújo Viana, 2500 - Cinco 32010-000 Contagem (MG), BRAZIL E-Mail: wellington.freitas@pli-petronas.com	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de Identificação: Biodiesel + Etanol 40/60 Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: 229/4 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-220725-00102
Resultado	
Número EVERLUB	1020015916
Data de Coleta	19/07/2022
Data de Chegada	25/07/2022
Data de Análise	30/07/2022
Horas do Veículo	-
Horas óleo	3
Alumínio, ppm (ASTM D5185 18)	2
Níquel, ppm (ASTM D5185 18)	0
Prata, ppm (ASTM D5185 18)	0
Silício, ppm (ASTM D5185 18)	7
Sódio, ppm (ASTM D5185 18)	1
Fuligem, Abs/cm (ASTM E 2412 10 (2018))	2.1
Oxidação, Abs/cm (ASTM E 2412 / ASTM D2414)	73.0
Nitração, Abs/cm (ASTM E 2412 / ASTM D1924)	3.0
Sulfatação, Abs/cm (ASTM E 2412 / ASTM D2415)	7.0
Teor De Água (NIR 16356)	Ausente
Diluição por combustível (diesel), % (ASTM D7563)	5.7
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório	
Sample Notes	
Conclusões das análises	
	Análises realizadas para estudo de desempenho em um motor adaptado. Os resultados estão sob investigação considerando o andamento do teste.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos reais em testes são apresentados conforme o método referenciado. 4 - A estimativa de incerteza de medição é fornecida e encaminhada se solicitado. 5 - Amostra coletada pelo cliente. 6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço.	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
	PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL
ID de Revisão do Relatório: 1044909-1	página 2 de 2 Data de Impressão: 03/08/2022










ANEXO F – S-220725-00103 – BIODIESEL + ETANOL 60/40

RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-220725-00103	
Petronas Lubrificantes Brasil Sa Av. Trajano de Araújo Viana, 2500 - Cinco 32010-090 Contagem (MG), BRAZIL E-Mail: wellington.freitas@pli-petronas.com	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de Identificação: Biodiesel + Etanol 60/40 Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: 229/4 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-220725-00103
Resultado	
Número EVERLUB	1020015916
Data de Coleta	18/07/2022
Data de Chegada	25/07/2022
Data de Análise	30/07/2022
Horas do Veículo	-
Horas óleo	5
Cor	(Visual) Preto
Aspecto	(MAI 096-Rev.03) Tipo de óleo usado
Viscosidade a 100°C, mm ² /s	(ASTM D445 21) 10.79
Viscosidade a 40°C, mm ² /s	(ASTM D445 21) 68.44
Índice de viscosidade	(ASTM D2270) 147
TBN, mg KOH/g	(ASTM D2896 15 Proc A) 10.7
Cálcio, ppm	(ASTM D6185 16) 1320
Magnésio, ppm	(ASTM D6185 16) 1243
Fósforo, ppm	(ASTM D6185 16) 1180
Zinco, ppm	(ASTM D6185 16) 1420
Molibdênio, ppm	(ASTM D6185 16) 52
Cádmio, ppm	(ASTM D6185 16) 0
Manganês, ppm	(ASTM D6185 16) 0
Titânio, ppm	(ASTM D6185 16) 0
Vanádio, ppm	(ASTM D6185 16) 4
Bário, ppm	(ASTM D6185 16) 0
Ferro, ppm	(ASTM D6185 16) 16
Cromo, ppm	(ASTM D6185 16) 16
Chumbo, ppm	(ASTM D6185 16) 1
Cobre, ppm	(ASTM D6185 16) 1
Estanho, ppm	(ASTM D6185 16) 10
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório	
Sample Notes	
Conclusões das análises	
	Análises realizadas para estudo de desempenho em um motor adaptado. Os resultados estão sob investigação considerando o andamento do teste.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de ensaio só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos nestes ensaios são apresentados conforme o método referenciado. 4 - A estimativa de incertezas de medição é conhecida e encaminhada se solicitado. 5 - Amostras coletadas pelo cliente. 6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço.	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
	PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL
ID de Revisão do Relatório: 1044910-1	página 1 de 2
	Data de Impressão: 03/08/2022










RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-220725-00103	
Petronas Lubrificantes Brasil Sa Av. Trajano de Araújo Viana, 2500 - Cinco 32010-090 Contagem (MG), BRAZIL E-Mail: wellington.freitas@pli-petronas.com	 PETRONAS
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de Identificação: Biodiesel + Etanol 60/40 Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: 229/4 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-220725-00103
Resultado	
Número EVERLUB	1020015916
Data de Coleta	18/07/2022
Data de Chegada	25/07/2022
Data de Análise	30/07/2022
Horas do Veloculo	-
Horas óleo	5
Alumínio, ppm (ASTM D6185 16)	2
Níquel, ppm (ASTM D6185 16)	0
Prata, ppm (ASTM D6185 16)	0
Silício, ppm (ASTM D6185 16)	8
Sódio, ppm (ASTM D6185 16)	1
Fuligem, Abs/cm (ASTM E 2412 10 (2018))	5.1
Oxidação, Abs/cm (ASTM E 2412 / ASTM D7414)	106.0
Nitração, Abs/cm (ASTM E 2412 / ASTM D7524)	5.0
Sulfatação, Abs/cm (ASTM E 2412 / ASTM D7415)	10.0
Teor De Água (NBR 16398)	Ausente
Diluição por combustível (diesel), % (ASTM D7593)	6.3
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório	
Sample Notes	
Conclusões das análises	
	Análises realizadas para estudo de desempenho em um motor adaptado. Os resultados estão sob investigação considerando o andamento do teste.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos reais ensaios são apresentados conforme o método referenciado. 4 - A estimativa de incerteza de medição é fornecida e encerrada se solicitado. 5 - Amostras coletadas pelo cliente. 6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço.	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
	PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A. - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL
ID de Revisão do Relatório: 1044910-1	página 2 de 2
	Data de Impressão: 03/08/2022










ANEXO G – S-220725-00104 – DIESEL + S10 50/50

RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-220725-00104		
Petronas Lubrificantes Brasil Sa Av. Trajano de Araújo Viana, 2500 - Cinco 32010-090 Contagem (MG), BRAZIL E-Mail: wellington.freitas@pli-petronas.com		
Informações do equipamento		
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de Identificação: Diesel S10 + Etanol 50/50 Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: 229/4 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:	
Informações da Amostra		
Número da Amostra	S-220725-00104	
Resultado	✓	
Número EVERLUB	1020015916	
Data de Coleta	19/07/2022	
Data de Chegada	25/07/2022	
Data de Análise	30/07/2022	
Horas do Veículo	-	
Horas óleo	6	
Cor	(Visual)	Preto
Aspecto	(MAI 096-Riv 03)	Típico de óleo usado
Viscosidade a 100°C, mm ² /s	(ASTM D445 21)	10.69
Viscosidade a 40°C, mm ² /s	(ASTM D445 21)	67.05
Índice de viscosidade	(ASTM D2270)	149
TBN, mg KOH/g	(ASTM D2896 15 Proc A)	10.4
Cálcio, ppm	(ASTM D5185 10)	1270
Magnésio, ppm	(ASTM D5185 10)	1204
Fósforo, ppm	(ASTM D5185 10)	1140
Zinco, ppm	(ASTM D5185 10)	1380
Molibdênio, ppm	(ASTM D5185 10)	49
Cádmio, ppm	(ASTM D5185 10)	0
Manganês, ppm	(ASTM D5185 10)	0
Titânio, ppm	(ASTM D5185 10)	0
Vanádio, ppm	(ASTM D5185 10)	3
Bário, ppm	(ASTM D5185 10)	0
Ferro, ppm	(ASTM D5185 10)	17
Cromo, ppm	(ASTM D5185 10)	17
Chumbo, ppm	(ASTM D5185 10)	1
Cobre, ppm	(ASTM D5185 10)	1
Estanho, ppm	(ASTM D5185 10)	11
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório		
Sample Notes		
Conclusões das análises		
	Análises realizadas para estudo de desempenho em um motor adaptado. Os resultados estão sob investigação considerando o andamento do teste.	
	 NORMAL	 ATENÇÃO
		 AÇÃO NECESSÁRIA
1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de ensaio só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos nestes ensaios são apresentados conforme o método referenciado. 4 - A exatidão de incerteza de medição é conhecida e encimada se solicitado. 5 - Amostras coletadas pelo cliente. 6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço.	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado	
	PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A. - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL	
ID de Revisão do Relatório: 1044911-1	página 1 de 2	Data de Impressão: 03/08/2022

RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-220725-00104	
Petronas Lubrificantes Brasil Sa Av. Trajano de Araújo Viana, 2500 - Cinco 32010-090 Contagem (MG), BRAZIL E-Mail: wellington.freitas@pli-petronas.com	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de Identificação: Diesel S10 + Etanol 50/50 Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: 229/4 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-220725-00104
Resultado	
Número EVERLUB	1020015916
Data de Coleta	18/07/2022
Data de Chegada	25/07/2022
Data de Análise	30/07/2022
Horas do Veículo	-
Horas óleo	6
Alumínio, ppm (ASTM D6185 18)	3
Níquel, ppm (ASTM D6185 18)	0
Prata, ppm (ASTM D6185 18)	0
Silício, ppm (ASTM D6185 18)	7
Sódio, ppm (ASTM D6185 18)	1
Fuligem, Abs/cm (ASTM E 2412 10 (2018))	5.1
Oxidação, Abs/cm (ASTM E 2412 / ASTM D2414) (ASTM E 2412 / ASTM D7524)	108.0
Nitração, Abs/cm (ASTM E 2412 / ASTM D2415)	5.0
Sulfatação, Abs/cm (ASTM E 2412 / ASTM D2415)	10.0
Teor De Água (NBR 16398)	Ausente
Diluição por combustível (diesel), % (ASTM D7593)	6.5
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório	
Sample Notes	
Conclusões das análises	
	Análises realizadas para estudo de desempenho em um motor adaptado. Os resultados estão sob investigação considerando o andamento do teste.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos nestes ensaios são apresentados conforme o método referenciado. 4 - A estimativa de incerteza de medição é conhecida e encaminhada se solicitado. 5 - Amostras coletadas pelo cliente. 6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço.	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
	PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL
ID de Revisão do Relatório: 1044911-1	página 2 de 2
	Data de Impressão: 03/08/2022

ANEXO H – S-220725-00105 – DIESEL S10 + ETANOL 50/50


RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-220725-00105	
Petronas Lubrificantes Brasil Sa Av. Trajano de Araújo Viana, 2500 - Cinco 32010-090 Contagem (MG), BRAZIL E-Mail: wellington.freitas@pli-petronas.com	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de Identificação: Diesel S10 + Etanol 50/50 Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: 229/4 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-220725-00105
Resultado	
Número EVERLUB	1020015916
Data de Coleta	21/07/2022
Data de Chegada	25/07/2022
Data de Análise	30/07/2022
Horas do Veículo	-
Horas óleo	7
Cor	(Visual) Preto
Aspecto	(MAI 096-Rev.03) Típico de óleo usado
Viscosidade a 100°C, mm ² /s	(ASTM D445 21) 10.67
Viscosidade a 40°C, mm ² /s	(ASTM D445 21) 67.33
Índice de viscosidade	(ASTM D2270) 148
TBN, mg KOH/g	(ASTM D2896 15 Proc A) 10.5
Cálcio, ppm	(ASTM D6185 16) 1270
Magnésio, ppm	(ASTM D6185 16) 1197
Fósforo, ppm	(ASTM D6185 16) 1130
Zinco, ppm	(ASTM D6185 16) 1370
Molibdênio, ppm	(ASTM D6185 16) 50
Cádmio, ppm	(ASTM D6185 16) 0
Manganês, ppm	(ASTM D6185 16) 0
Titânio, ppm	(ASTM D6185 16) 0
Vanádio, ppm	(ASTM D6185 16) 3
Bário, ppm	(ASTM D6185 16) 0
Ferro, ppm	(ASTM D6185 16) 16
Cromo, ppm	(ASTM D6185 16) 17
Chumbo, ppm	(ASTM D6185 16) 1
Cobre, ppm	(ASTM D6185 16) 1
Estanho, ppm	(ASTM D6185 16) 11
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório	
Sample Notes	
Conclusões das análises	
	Análises realizadas para estudo de desempenho em um motor adaptado. Os resultados estão sob investigação considerando o andamento do teste.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de ensaio só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos nestes ensaios são apresentados conforme o método referenciado. 4 - A estimativa de incerteza de medição é conhecida e encimada se solicitado. 5 - Amostras coletadas pelo cliente. 6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço.	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
	PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A. - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL
ID de Revisão do Relatório: 1044912-1	página 1 de 2
	Data de Impressão: 03/08/2022










RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-220725-00105	
Petronas Lubrificantes Brasil Sa Av. Trajano de Araújo Viana, 2500 - Cinco 32010-090 Contagem (MG), BRAZIL E-Mail: wellington.freitas@pli-petronas.com	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de Identificação: Diesel S10 + Etanol 50/50 Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: 229/4 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-220725-00105
Resultado	
Número EVERLUB	1020015916
Data de Coleta	21/07/2022
Data de Chegada	25/07/2022
Data de Análise	30/07/2022
Horas do Velcuto	-
Horas óleo	7
Alumínio, ppm (ASTM D6185 18)	2
Níquel, ppm (ASTM D6185 18)	0
Prata, ppm (ASTM D6185 18)	0
Silício, ppm (ASTM D6185 18)	7
Sódio, ppm (ASTM D6185 18)	1
Fuligem, Abs/cm (ASTM E 2412 10 (2018))	6.1
Oxidação, Abs/cm (ASTM E 2412 7 ASTM D7414)	108.0
Nitração, Abs/cm (ASTM E 2412 7 ASTM D7624)	5.0
Sulfatação, Abs/cm (ASTM E 2412 7 ASTM D7415)	11.0
Teor De Água (NBR 16398)	Ausente
Diluição por combustível (diesel), % (ASTM D7593)	6.4
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório	
Sample Notes	
Conclusões das análises	
	Análises realizadas para estudo de desempenho em um motor adaptado. Os resultados estão sob investigação considerando o andamento do teste.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de ensaio só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos nestes ensaios são apresentados conforme o método referenciado. 4 - A estimativa de incerteza de medição é conhecida e encaminhada se solicitado. 5 - Amostra coletada pelo cliente. 6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço.	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
	PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Ctnco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL
ID de Revisão do Relatório: 1044912-1	página 2 de 2
	Data de Impressão: 03/08/2022










ANEXO I – INFORMAÇÕES TÉCNICA DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA AQUISIÇÃO DE DADOS CONFORME FABRICANTES







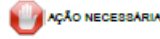


Informações técnica dos equipamentos utilizados na aquisição de dados				
Grandeza medida	Modelo	Faixa de medição	Repetibilidade	Resolução
Temperatura ambiente na região do motor	Termopar tipo K	0 °C a 40°C	0,50%	0,01 °C
Temperatura do reservatório de biodiesel	Termoresistor Pt-100	0 °C a 40°C	0,60%	0,01 °C
Temperatura do ar de admissão	Termopar tipo K	0 °C a 40°C	2,20%	0,01 °C
Temperatura ambiente	Termohigrômetro Delta Ohm 9406	-20 °C a 90 °C	0,2°C	0,1 °C
Umidade relativa do ar	Termohigrômetro Delta Ohm 9406	5% a 98% U.R	2,50%	0,1% U.R.
Temperatura de entrada do arrefecimento	Termoresistor Pt-100	0 °C a 150 °C	0,60%	0,01 °C
Temperatura de saída do arrefecimento	Termoresistor Pt-100	0 °C a 150 °C	0,60%	0,01 °C
Óleo do cárter	Termopar tipo K	0 °C a 40°C	1,60%	0,01 °C
Potência elétrica	Medidor multivariável Cyber UPD-200	máx. 300 kW	1,00%	0,1 kW
Pressão atmosférica	Barômetro de Torricelli	0 mmHg a 800 mmHg	-	1,0 mmHg
Massa etanol	Balança Toledo 9091	0 kg a 10kg	-	0,001 kg
Massa biodiesel	Balança Líder LD1050	0 kg a 50kg	-	0,005 kg







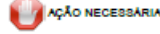


ANEXO J – LAUDOS TÉCNICOS DAS ANÁLISES REALIZADAS NA SEGUNDA ETAPA _ USO DE BIODIESEL 100 %










RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-240809-00006																																																																
PUC – Sociedade Mineira de Cultura Avenida Dom José Gaspar, nº 500, Coração Eucarístico 30535-901 Belo Horizonte (MG), BRAZIL	 PETRONAS																																																															
Informações do equipamento																																																																
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: N. de Identificação: Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:																																																															
Informações da Amostra																																																																
Número da Amostra Resultado Número EVERLUB Data de Coleta Data de Chegada Data de Análise Horas do Veículo Horas óleo	<div style="background-color: #333; color: white; padding: 2px; text-align: center; margin-bottom: 5px;">S-240809-00006</div> <div style="text-align: center; color: green; font-weight: bold; margin-bottom: 5px;">✓</div> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"></td> <td style="width: 30%; text-align: center;">(Visual)</td> <td style="width: 40%; text-align: center;">Castanho</td> </tr> <tr> <td>Aspecto</td> <td style="text-align: center;">(MAI 099-Rev.03)</td> <td style="text-align: center;">Límpido</td> </tr> <tr> <td>Viscosidade a 100°C, mm²/s</td> <td style="text-align: center;">(ASTM D445 Z3)</td> <td style="text-align: center;">14,28</td> </tr> <tr> <td>TBN, mg KOH/g</td> <td style="text-align: center;">(ASTM D2596 Z1) Proc. A)</td> <td style="text-align: center;">9,9</td> </tr> <tr> <td>Cálcio, mg/kg</td> <td style="text-align: center;">(ASTM D6185 S1)</td> <td style="text-align: center;">3740</td> </tr> <tr> <td>Magnésio, mg/kg</td> <td style="text-align: center;">(ASTM D6185 S1)</td> <td style="text-align: center;">22,0</td> </tr> <tr> <td>Fósforo, mg/kg</td> <td style="text-align: center;">(ASTM D6185 S1)</td> <td style="text-align: center;">927</td> </tr> <tr> <td>Zinco, mg/kg</td> <td style="text-align: center;">(ASTM D6185 S1)</td> <td style="text-align: center;">1030</td> </tr> <tr> <td>Viscosidade a 40°C, mm²/s</td> <td style="text-align: center;">(ASTM D445 Z3)</td> <td style="text-align: center;">101,7</td> </tr> <tr> <td>Índice de viscosidade</td> <td style="text-align: center;">(ASTM D2270)</td> <td style="text-align: center;">144</td> </tr> <tr> <td>Molibdênio, mg/kg</td> <td style="text-align: center;">(ASTM D6185 S1)</td> <td style="text-align: center;">36</td> </tr> <tr> <td>Cádmio, mg/kg</td> <td style="text-align: center;">(ASTM D6185 S1)</td> <td style="text-align: center;"><3,00</td> </tr> <tr> <td>Manganês, mg/kg</td> <td style="text-align: center;">(ASTM D6185 S1)</td> <td style="text-align: center;"><1,0</td> </tr> <tr> <td>Tântalo, mg/kg</td> <td style="text-align: center;">(ASTM D6185 S1)</td> <td style="text-align: center;"><1,0</td> </tr> <tr> <td>Vanádio, mg/kg</td> <td style="text-align: center;">(ASTM D6185 S1)</td> <td style="text-align: center;">1,3</td> </tr> <tr> <td>Bário, mg/kg</td> <td style="text-align: center;">(ASTM D6185 S1)</td> <td style="text-align: center;"><3,00</td> </tr> <tr> <td>Ferro, mg/kg</td> <td style="text-align: center;">(ASTM D6185 S1)</td> <td style="text-align: center;">1,7</td> </tr> <tr> <td>Cromo, mg/kg</td> <td style="text-align: center;">(ASTM D6185 S1)</td> <td style="text-align: center;"><1,0</td> </tr> <tr> <td>Chumbo, mg/kg</td> <td style="text-align: center;">(ASTM D6185 S1)</td> <td style="text-align: center;"><10</td> </tr> <tr> <td>Cobre, mg/kg</td> <td style="text-align: center;">(ASTM D6185 S1)</td> <td style="text-align: center;"><1,0</td> </tr> <tr> <td>Estanho, mg/kg</td> <td style="text-align: center;">(ASTM D6185 S1)</td> <td style="text-align: center;"><10</td> </tr> </table> <p style="font-size: small; margin-top: 10px;">As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório</p>		(Visual)	Castanho	Aspecto	(MAI 099-Rev.03)	Límpido	Viscosidade a 100°C, mm ² /s	(ASTM D445 Z3)	14,28	TBN, mg KOH/g	(ASTM D2596 Z1) Proc. A)	9,9	Cálcio, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	3740	Magnésio, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	22,0	Fósforo, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	927	Zinco, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	1030	Viscosidade a 40°C, mm ² /s	(ASTM D445 Z3)	101,7	Índice de viscosidade	(ASTM D2270)	144	Molibdênio, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	36	Cádmio, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	<3,00	Manganês, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	<1,0	Tântalo, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	<1,0	Vanádio, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	1,3	Bário, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	<3,00	Ferro, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	1,7	Cromo, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	<1,0	Chumbo, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	<10	Cobre, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	<1,0	Estanho, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	<10
	(Visual)	Castanho																																																														
Aspecto	(MAI 099-Rev.03)	Límpido																																																														
Viscosidade a 100°C, mm ² /s	(ASTM D445 Z3)	14,28																																																														
TBN, mg KOH/g	(ASTM D2596 Z1) Proc. A)	9,9																																																														
Cálcio, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	3740																																																														
Magnésio, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	22,0																																																														
Fósforo, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	927																																																														
Zinco, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	1030																																																														
Viscosidade a 40°C, mm ² /s	(ASTM D445 Z3)	101,7																																																														
Índice de viscosidade	(ASTM D2270)	144																																																														
Molibdênio, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	36																																																														
Cádmio, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	<3,00																																																														
Manganês, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	<1,0																																																														
Tântalo, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	<1,0																																																														
Vanádio, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	1,3																																																														
Bário, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	<3,00																																																														
Ferro, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	1,7																																																														
Cromo, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	<1,0																																																														
Chumbo, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	<10																																																														
Cobre, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	<1,0																																																														
Estanho, mg/kg	(ASTM D6185 S1)	<10																																																														
Sample Notes																																																																
Conclusões das análises																																																																
<div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 10px;"> <p>A amostra apresenta suas características físico-químicas dentro do esperado para um produto em uso.</p> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center; font-size: small;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> FLUID TECHNOLOGY SOLUTIONS™ PETRONAS </div> <div style="display: flex; gap: 10px;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> NORMAL </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> ATENÇÃO </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> AÇÃO NECESSÁRIA </div> </div> </div>	<div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> <p style="font-size: small; margin: 0;">Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado</p> </div>																																																															
<p>1 - Os resultados refletem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos nestas análises são apresentados conforme o método referenciado. 4 - As atividades de garantia de medição é conhecida e encoberta no solicitado. 5 - Amostra coletada pelo cliente. 6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço. 9 - A unidade de medida de ppm foi alterada para mg/kg.</p>																																																																
<p style="text-align: center;">PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL</p>																																																																
ID de Revisão do Relatório: 1049884-1	página 1 de 2																																																															
Data de Impressão: 13/09/2024																																																																







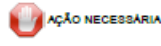
RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-240809-00006	
PUC – Sociedade Mineira de Cultura Avenida Dom José Gaspar, nº 500, Coração Eucarístico 30535-901 Belo Horizonte (MG), BRAZIL	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: N. de Identificação: Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-240809-00006
Resultado	
Número EVERLUB	
Data de Coleta	29/07/2024
Data de Chegada	09/08/2024
Data de Análise	21/08/2024
Horas do Veículo	-
Horas óleo	0
Alumínio, mg/kg (ASTM D6185 15)	<3.0
Níquel, mg/kg (ASTM D6185 15)	<3.0
Sódio, mg/kg (ASTM D6185 15)	8.5
Fuligem, Abs/cm (ASTM E 2412 23e)	0.0
Prata, mg/kg (ASTM D6185 15)	<1.0
Silício, mg/kg (ASTM D6185 15)	<1.0
Nitração, Abs/cm (ASTM D7024 22)	0.0
Oxidação, Abs/cm (ASTM D7144 22)	1.0
Sulfetação, Abs/cm (ASTM D7145 22)	0.0
Teor De Água (NIR 1026)	Ausente
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório	
Sample Notes	
Conclusões das análises	
	A amostra apresenta suas características físico-químicas dentro do esperado para um produto em uso.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos nestes análises são apresentados conforme o método referenciado. 4 - A estimativa de incerteza de medição é conhecida e encaminhada ao solicitado. 5 - Amostra coletada pelo cliente. 6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço. 9 - A unidade de medida de ppm foi alterada para mg/kg.	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL	
	ID de Revisão do Relatório: 1049884-1
página 2 de 2	Data de Impressão: 13/09/2024







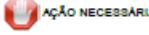


RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-240809-00007	
PUC – Sociedade Mineira de Cultura Avenida Dom José Gaspar, nº 500, Coração Eucarístico 30535-901 Belo Horizonte (MG), BRAZIL	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: N. de Identificação: Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-240809-00007
Resultado	
Número EVERLUB	
Data de Coleta	29/07/2024
Data de Chegada	09/08/2024
Data de Análise	21/08/2024
Horas do Veículo	-
Horas óleo	30
Cor	(Visual) Preto
Aspecto	(MVI 000-Rev 03) Típico de óleo usado
Viscosidade a 100°C, mm ² /s	(ASTM D445 Z3) 11.99
TBN, mg KOH/g	(ASTM D2286 Z1 Prec A) 9.6
Cálcio, mg/kg	(ASTM D6105 10) 3640
Magnésio, mg/kg	(ASTM D6105 10) 22.3
Fósforo, mg/kg	(ASTM D6105 10) 904
Zinco, mg/kg	(ASTM D6105 10) 1030
Viscosidade a 40°C, mm ² /s	(ASTM D445 Z3) 78.13
Índice de viscosidade	(ASTM D2270) 148
Molibdênio, mg/kg	(ASTM D6105 10) 36
Cádmio, mg/kg	(ASTM D6105 10) <3.00
Manganês, mg/kg	(ASTM D6105 10) <1.0
Tiânio, mg/kg	(ASTM D6105 10) <1.0
Vanádio, mg/kg	(ASTM D6105 10) 1.1
Bário, mg/kg	(ASTM D6105 10) <3.00
Ferro, mg/kg	(ASTM D6105 10) 5.1
Cromo, mg/kg	(ASTM D6105 10) <1.0
Chumbo, mg/kg	(ASTM D6105 10) <10
Cobalto, mg/kg	(ASTM D6105 10) 2.2
Estanho, mg/kg	(ASTM D6105 10) <10
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório	
Sample Notes	
Conclusões das análises	
	Alerta para queda na viscosidade e alta leitura de oxidação, sinalizando presença de biodiesel no lubrificante. A amostra apresenta as demais características físico-químicas dentro do esperado para um produto em uso.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
1 - Os resultados referem-se apenas aos itens amostrados. 2 - O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos nestes análises são especificados conforme o método referenciado. 4 - A exatidão de incerteza de medição é conhecida e encaminhada se solicitado. 5 - Amostra coletada pelo cliente. 6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço. 9 - A unidade de medida de ppm foi alterada para mg/kg.	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
	PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL
ID de Revisão do Relatório: 1049885-1	página 1 de 2 Data de Impressão: 13/09/2024









RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-240809-00007	
PUC – Sociedade Mineira de Cultura Avenida Dom José Gaspar, nº 500, Coração Eucarístico 30535-901 Belo Horizonte (MG), BRAZIL	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: N. de Identificação: Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-240809-00007
Resultado	
Número EVERLUB	
Data de Coleta	29/07/2024
Data de Chegada	09/08/2024
Data de Análise	21/08/2024
Horas do Veículo	-
Horas óleo	30
Alumínio, mg/kg (ASTM D6185 15)	<3.0
Níquel, mg/kg (ASTM D6185 15)	<3.0
Prata, mg/kg (ASTM D6185 15)	<1.0
Silício, mg/kg (ASTM D6185 15)	<10
Sódio, mg/kg (ASTM D6185 15)	11
Fuligem, Abs/cm (ASTM E 2412 23a)	0.0
Oxidação, Abs/cm (ASTM D714 22)	70.0
Nitração, Abs/cm (ASTM D7024 22)	3.0
Sulfetação, Abs/cm (ASTM D7145 22)	7.0
Teor De Água (NIR 1026)	Ausente
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório	
Sample Notes	
Conclusões das análises	
	Alerta para queda na viscosidade e alta leitura de oxidação, sinalizando presença de biodiesel no lubrificante. A amostra apresenta as demais características físico-químicas dentro do esperado para um produto em uso.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
1- Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2- O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3- Os métodos reais analise são apresentados conforme o método referenciado. 4- A exatidão de incerteza de medição é conhecida e encimada se solicitado. 5- Amostra coletada pelo cliente. 6- O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7- O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8- A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço. 9- A unidade de medida de ppm foi alterada para mg/kg.	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL	
	ID de Revisão do Relatório: 1049885-1
página 2 de 2	Data de Impressão: 13/09/2024






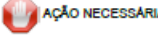


RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-240809-00008	
PUC – Sociedade Mineira de Cultura Avenida Dom José Gaspar, nº 500, Coração Eucarístico 30535-901 Belo Horizonte (MG), BRAZIL	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: N. de Identificação: Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-240809-00008
Resultado	
Número EVERLUB	
Data de Coleta	29/07/2024
Data de Chegada	09/08/2024
Data de Análise	21/08/2024
Horas do Veículo	-
Horas óleo	36
Cor	(Visual) Preto
Aspecto	(MAI 095-Rev.03) Tipo de óleo usado
Viscosidade a 100°C, mm ² /s	(ASTM D445-23) 11.80
TBN, mg KOH/g	(ASTM D2596-21 Proc A) 9.7
Cálcio, mg/kg	(ASTM D5185-15) 3410
Magnésio, mg/kg	(ASTM D5185-15) 20.9
Fósforo, mg/kg	(ASTM D5185-15) 847
Zinco, mg/kg	(ASTM D5185-15) 958
Viscosidade a 40°C, mm ² /s	(ASTM D445-23) 78.91
Índice de viscosidade	(ASTM D2270) 148
Molibdênio, mg/kg	(ASTM D5185-15) 33
Cádmio, mg/kg	(ASTM D5185-15) <3.00
Manganês, mg/kg	(ASTM D5185-15) <1.0
Titânio, mg/kg	(ASTM D5185-15) <1.0
Vanádio, mg/kg	(ASTM D5185-15) 1.1
Bário, mg/kg	(ASTM D5185-15) <3.00
Ferro, mg/kg	(ASTM D5185-15) 5.1
Cromo, mg/kg	(ASTM D5185-15) <1.0
Chumbo, mg/kg	(ASTM D5185-15) <10
Cobre, mg/kg	(ASTM D5185-15) 2.3
Estanho, mg/kg	(ASTM D5185-15) <10
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório	
Sample Notes	
Conclusões das análises	
	Alerta para queda na viscosidade e alta leitura de oxidação, sinalizando presença de biodiesel no lubrificante. A amostra apresenta as demais características físico-químicas dentro do esperado para um produto em uso.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
1- Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2- O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3- Os métodos reais analíticos são apresentados conforme o método referenciado. 4- A estimativa de incerteza de medição é conhecida e encimada no relatório. 5- Amostra coletada pelo cliente. 6- O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7- O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8- A nega de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço. 9- A unidade de medida de ppm foi alterada para mg/kg.	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL	
	ID de Revisão do Relatório: 1049886-1
página 1 de 2	Data de Impressão: 13/09/2024










RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-240809-00008	
PUC – Sociedade Mineira de Cultura Avenida Dom José Gaspar, nº 500, Coração Eucarístico 30535-901 Belo Horizonte (MG), BRAZIL	 PETRONAS
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: N. de identificação: Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-240809-00008
Resultado	
Número EVERLUB	
Data de Coleta	29/07/2024
Data de Chegada	09/08/2024
Data de Análise	21/08/2024
Horas do Veículo	-
Horas óleo	36
Alumínio, mg/kg (ASTM D5105 15)	<3.0
Níquel, mg/kg (ASTM D5105 15)	<3.0
Prata, mg/kg (ASTM D5105 15)	<1.0
Silício, mg/kg (ASTM D5105 15)	<10
Sódio, mg/kg (ASTM D5105 15)	11
Fuligem, Abs/cm (ASTM E 2412 23e)	0.0
Oxidação, Abs/cm (ASTM D7164 22)	24.0
Nitração, Abs/cm (ASTM D7024 22)	3.0
Sulfatação, Abs/cm (ASTM D7415 22)	12.0
Teor De Água (NDR 10350)	Ausente
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório	
Sample Notes	
Conclusões das análises	
	Alerta para queda na viscosidade e alta leitura de oxidação, sinalizando presença de biodiesel no lubrificante. A amostra apresenta as demais características físico-químicas dentro do esperado para um produto em uso.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
<p>1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de ensaio só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos nestes ensaios são apresentados conforme o método referenciado. 4 - A exatidão da frequência de medição é correta e encimada se solicitado. 5 - Amostra coletada pelo cliente. 6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço. 9 - A unidade de medida de ppm foi alterada para mg/kg.</p>	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A. - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL	
	ID de Revisão do Relatório: 1049886-1
página 2 de 2	Data de Impressão: 13/09/2024










RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-240809-00009	
PUC – Sociedade Mineira de Cultura Avenida Dom José Gaspar, nº 500, Coração Eucarístico 30535-901 Belo Horizonte (MG), BRAZIL	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: N. de identificação: Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-240809-00009
Resultado	
Número EVERLUB	
Data de Coleta	29/07/2024
Data de Chegada	09/08/2024
Data de Análise	21/08/2024
Horas do Veículo	-
Horas óleo	42
Cor	(Visual) Preto
Aspecto	(MA1094-Rev.03) Típico de óleo usado
Viscosidade a 100°C, mm ² /s	(ASTM D445-23) 11.85
TEN, mg KOH/g	(ASTM D0560-21) 9.6
Cálcio, mg/kg	(ASTM D5105-18) 3500
Magnésio, mg/kg	(ASTM D5105-18) 21.7
Fósforo, mg/kg	(ASTM D5105-18) 873
Zinco, mg/kg	(ASTM D5105-18) 974
Viscosidade a 40°C, mm ² /s	(ASTM D445-23) 74.92
Índice de viscosidade	(ASTM D2270-1) 149
Molibdênio, mg/kg	(ASTM D5105-18) 34
Cádmio, mg/kg	(ASTM D5105-18) <3.00
Manganês, mg/kg	(ASTM D5105-18) <1.0
Tântalo, mg/kg	(ASTM D5105-18) <1.0
Vanádio, mg/kg	(ASTM D5105-18) 1.2
Bário, mg/kg	(ASTM D5105-18) <3.00
Ferro, mg/kg	(ASTM D5105-18) 5.5
Cromo, mg/kg	(ASTM D5105-18) <1.0
Chumbo, mg/kg	(ASTM D5105-18) <10
Cobalto, mg/kg	(ASTM D5105-18) 2.5
Estanho, mg/kg	(ASTM D5105-18) <10
* Este item foi alterado e/ou revisado X vezes.	
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório	
Sample Notes	
Conclusões das análises	
	Alerta para queda na viscosidade e alta leitura de oxidação, sinalizando presença de biodiesel no lubrificante. A amostra apresenta as demais características físico-químicas dentro do esperado para um produto em uso.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
<p>1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados.</p> <p>2 - O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório.</p> <p>3 - Os métodos nestes análises são apresentados conforme o método referenciado.</p> <p>4 - A estimativa de incerteza de medição é conhecida e encaminhada ao usuário.</p> <p>5 - Amostra coletada pelo cliente.</p> <p>6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente.</p> <p>7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados.</p> <p>8 - A regra de decisão de conformidade é baseada no documento encaminhado previamente à contratação do serviço.</p> <p>9 - A unidade de medida de ppm foi alterada para mg/kg.</p>	<p>Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado</p>
<p>PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL</p> <p>LubVision</p> <p>ID de Revisão do Relatório: 1049887-2 página 1 de 2 Data de Impressão: 13/09/2024</p> <p>Esta versão do certificado de análise substitui todas as versões anteriores.</p>	









RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-240809-00009	
PUC – Sociedade Mineira de Cultura Avenida Dom José Gaspar, nº 500, Coração Eucarístico 30535-901 Belo Horizonte (MG), BRAZIL	 PETRONAS
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: N. de Identificação: Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-240809-00009
Resultado	
Número EVERLUB	
Data de Coleta	29/07/2024
Data de Chegada	09/08/2024
Data de Análise	21/08/2024
Horas do Veículo	-
Horas óleo	42
Alumínio, mg/kg (ASTM D6105 15)	<3.0
Níquel, mg/kg (ASTM D6105 15)	<3.0
Prata, mg/kg (ASTM D6105 15)	<1.0
Silício, mg/kg (ASTM D6105 15)	12
Sódio, mg/kg (ASTM D6105 15)	11
Fuligem, Abs/cm (ASTM E 2412 23e)	0.0
Oxidação, Abs/cm (ASTM D7614 22)	82.0
Nitração, Abs/cm (ASTM D7624 22)	3.0
Sulfatação, Abs/cm (ASTM D7615 22)	10.0
Teor De Água (NBR 10356)	Ausente
<p>* Este item foi alterado e/ou revisado X vezes. As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório</p>	
Sample Notes	
Conclusões das análises	
	Alerta para queda na viscosidade e alta leitura de oxidação, sinalizando presença de biodiesel no lubrificante. A amostra apresenta as demais características físico-químicas dentro do esperado para um produto em uso.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
<p>1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos nestes ensaios são apresentados conforme o método referenciado. 4 - A exatidão da frequência de medição é controlada e encaminhada ao solicitado. 5 - Amostras coletadas pelo cliente. 6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço. 9 - A unidade de medida de ppm foi alterada para mg/kg.</p>	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A. - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL	
 ID de Revisão do Relatório: 1049887-2	página 2 de 2 Data de Impressão: 13/09/2024
Esta versão do certificado de análise substitui todas as versões anteriores.	










RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-240809-00010	
PUC – Sociedade Mineira de Cultura Avenida Dom José Gaspar, nº 500, Coração Eucarístico 30535-901 Belo Horizonte (MG), BRAZIL	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: N. de Identificação: Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-240809-00010
Resultado	
Número EVERLUB	
Data de Coleta	29/07/2024
Data de Chegada	09/08/2024
Data de Análise	21/08/2024
Horas do Veículo	-
Horas óleo	48
Cor	(Visual) Preto
Aspecto	(MAI 08H-liv.03) Típico de óleo usado
Viscosidade a 100°C, mm ² /s	(ASTM D445 23) 11,52
TBN, mg KOH/g	(ASTM D2896 21 Proc A) 9,5
Cálcio, mg/kg	(ASTM D5185 18) 3360
Magnésio, mg/kg	(ASTM D5185 18) 20,8
Fósforo, mg/kg	(ASTM D5185 18) 833
Zinco, mg/kg	(ASTM D5185 18) 943
Viscosidade a 40°C, mm ² /s	(ASTM D445 23) 73,50
Índice de viscosidade	(ASTM D2270) 150
Molibdênio, mg/kg	(ASTM D5185 18) 33
Cádmio, mg/kg	(ASTM D5185 18) <3,00
Manganês, mg/kg	(ASTM D5185 18) <1,0
Tiânio, mg/kg	(ASTM D5185 18) <1,0
Vanádio, mg/kg	(ASTM D5185 18) 1,1
Bário, mg/kg	(ASTM D5185 18) <3,00
Ferro, mg/kg	(ASTM D5185 18) 5,6
Cromo, mg/kg	(ASTM D5185 18) <1,0
Chumbo, mg/kg	(ASTM D5185 18) <10
Cobre, mg/kg	(ASTM D5185 18) 2,4
Estanho, mg/kg	(ASTM D5185 18) <10
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório	
Sample Notes	
Conclusões das análises	
	Alerta para queda na viscosidade e alta leitura de oxidação, sinalizando presença de biodiesel no lubrificante. A amostra apresenta as demais características físico-químicas dentro do esperado para um produto em uso.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
<p>1- Os resultados referem-se apenas aos itens analisados.</p> <p>2- O método de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório.</p> <p>3- Os métodos nestes ensaios são apresentados conforme o método referenciado.</p> <p>4- A estimativa de incerteza de medição é contida e encaminhada ao solicitado.</p> <p>5- Amostra coletada pelo cliente.</p> <p>6- O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente.</p> <p>7- O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados.</p> <p>8- A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço.</p> <p>9- A unidade de medida de ppm foi alterada para mg/kg.</p>	<p></p> <p>Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado</p>










Informações do equipamento		
Produto:	PETRONAS URANIA 3000 SE	Comp. Mecânico: Motor
Descrição:	PETRONAS URANIA 3000 SE	Modelo:
Marca:		Chassi/Placa:
N. de Identificação:		Vol. óleo Reserv.:
Capac. óleo Compart.:		
Informações da Amostra		
Número da Amostra	S-240809-00010	
Resultado		
Número EVERLUB		
Data de Coleta	29/07/2024	
Data de Chegada	09/08/2024	
Data de Análise	21/08/2024	
Horas do Veículo	-	
Horas óleo	48	
Alumínio, mg/kg	(ASTM D5185 18)	<3.0
Níquel, mg/kg	(ASTM D5185 18)	<3.0
Prata, mg/kg	(ASTM D5185 18)	<1.0
Silício, mg/kg	(ASTM D5185 18)	23
Sódio, mg/kg	(ASTM D5185 18)	10
Fuligem, Abs/cm	(ASTM E 2412 23a)	0.0
Oxidação, Abs/cm	(ASTM D7414 22)	89.0
Nitração, Abs/cm	(ASTM D7524 22)	3.0
Sulfatação, Abs/cm	(ASTM D7415 22)	12.0
Teor De Água	(NBR 16398)	Ausente
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório		
Sample Notes		
Conclusões das análises		
	Alerta para queda na viscosidade e alta leitura de oxidação, sinalizando presença de biodiesel no lubrificante. A amostra apresenta as demais características físico-químicas dentro do esperado para um produto em uso.	
	 NORMAL	 ATENÇÃO
		 AÇÃO NECESSÁRIA
<ol style="list-style-type: none"> 1- Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2- O relatório de ensaio só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3- Os métodos nestas análises são apresentados conforme o método referenciado. 4- A estimativa de incerteza de medição é conhecida e encaminhada se solicitado. 5- Amostra coletada pelo cliente. 6- O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7- O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8- A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço. 9- A unidade de medida de ppm foi alterada para mg/kg. 	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado	
	PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A. - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL	
ID de Revisão do Relatório: 1049888-1	página 2 de 2	Data de Impressão: 13/09/2024










RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-240415-00032	
PUC – Sociedade Mineira de Cultura Avenida Dom José Gaspar, nº 500, Coração Eucarístico 30535-901 Belo Horizonte (MG), BRAZIL	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de identificação: Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: MWM 229/4 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-240415-00032
Resultado	
Número EVERLUB	
Data de Coleta	19/03/2024
Data de Chegada	15/04/2024
Data de Análise	19/04/2024
Horas do Veículo	-
Horas óleo	4
Cor	(Visual) Castanho Escuro
Aspecto	(MAI 095-Rev.03) Límpido
Viscosidade a 100°C, mm ² /s	(ASTM D445 21x2) 14.00
Viscosidade a 40°C, mm ² /s	(ASTM D445 21x2) 98.15
Índice de viscosidade	(ASTM D2270) 149
TBN, mg KOH/g	(ASTM D2896 21 Pro A) 10.1
Cálcio, mg/kg	(ASTM D5185 10) 3360
Magnésio, mg/kg	(ASTM D5185 10) 19.7
Fósforo, mg/kg	(ASTM D5185 10) 858
Zinco, mg/kg	(ASTM D5185 10) 913
Molibdênio, mg/kg	(ASTM D5185 10) 34
Cádmio, mg/kg	(ASTM D5185 10) <3.00
Manganês, mg/kg	(ASTM D5185 10) <1.0
Tântalo, mg/kg	(ASTM D5185 10) <1.0
Vanádio, mg/kg	(ASTM D5185 10) <1.0
Bário, mg/kg	(ASTM D5185 10) <3.00
Ferro, mg/kg	(ASTM D5185 10) 1.3
Cromo, mg/kg	(ASTM D5185 10) <1.0
Chumbo, mg/kg	(ASTM D5185 10) <10
Cobalto, mg/kg	(ASTM D5185 10) <1.0
Estanho, mg/kg	(ASTM D5185 10) <10
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório	
Conclusões das análises	
	A amostra analisada apresenta suas características físico-químicas dentro do esperado para um produto em uso.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos nestes análises são apresentados conforme o método referenciado. 4 - A estimativa de incerteza de medição é conhecida e encimada no relatório. 5 - Amostra coletada pelo cliente. 6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço. 9 - A unidade de medida de ppm foi alterada para mg/kg.	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LubAm Signatário Autorizado
	PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL ID de Revisão do Relatório: 1049236-1
página 1 de 2	Data de Impressão: 24/04/2024










RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-240415-00032	
PUC – Sociedade Mineira de Cultura Avenida Dom José Gaspar, nº 500, Coração Eucarístico 30535-901 Belo Horizonte (MG), BRAZIL	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de Identificação: Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: MWM 229/4 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-240415-00032
Resultado	
Número EVERLUB	
Data de Coleta	19/03/2024
Data de Chegada	15/04/2024
Data de Análise	19/04/2024
Horas do Veículo	-
Horas óleo	4
Alumínio, mg/kg (ASTM D6185 15)	<3.0
Níquel, mg/kg (ASTM D6185 15)	<3.0
Prata, mg/kg (ASTM D6185 15)	<1.0
Silício, mg/kg (ASTM D6185 15)	<1.0
Sódio, mg/kg (ASTM D6185 15)	<3.0
Fuligem, Abs/cm (ASTM E 2412 22)	6.0
Oxidação, Abs/cm (ASTM D714 22)	0.0
Nitração, Abs/cm (ASTM D7624 22)	0.0
Sulfetação, Abs/cm (ASTM D7415 22)	0.0
Teor De Água (NBR 10261)	Ausente
<p>As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório</p>	
Conclusões das análises	
	A amostra analisada apresenta suas características físico-químicas dentro do esperado para um produto em uso.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
<ul style="list-style-type: none"> 1- Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2- O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3- Os métodos reais analise são apresentados conforme o método referenciado. 4- A exatidão de precisão de medição é conhecida e encimada se solicitado. 5- Amostra coletada pelo cliente. 6- O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7- O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8- A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço. 9- A unidade de medida de ppm foi alterada para mg/kg. 	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL	
	ID de Revisão do Relatório: 1049236-1
página 2 de 2	Data de Impressão: 24/04/2024










RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-240415-00033	
PUC – Sociedade Mineira de Cultura Avenida Dom José Gaspar, nº 500, Coração Eucarístico 30535-001 Belo Horizonte (MG), BRAZIL	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de Identificação: Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: MWM 229/4 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-240415-00033
Resultado	
Número EVERLUB	
Data de Coleta	20/03/2024
Data de Chegada	15/04/2024
Data de Análise	19/04/2024
Horas do Veículo	-
Horas óleo	8
Cor	(Visual) Castanho Escuro
Aspecto	(MAI 096-Rev 03) Limpido
Viscosidade a 100°C, mm ² /s	(ASTM D448 2142) 12,57
Viscosidade a 40°C, mm ² /s	(ASTM D448 2142) 92,44
Índice de viscosidade	(ASTM D2270) 132
TBN, mg KOH/g	(ASTM D2896 21 Proc Al) 10,2
Cálcio, mg/kg	(ASTM D5185 18) 3420
Magnésio, mg/kg	(ASTM D5185 18) 20,0
Fósforo, mg/kg	(ASTM D5185 18) 866
Zinco, mg/kg	(ASTM D5185 18) 925
Molibdênio, mg/kg	(ASTM D5185 18) 35
Cádmio, mg/kg	(ASTM D5185 18) <3,00
Manganês, mg/kg	(ASTM D5185 18) <1,0
Titânio, mg/kg	(ASTM D5185 18) <1,0
Vanádio, mg/kg	(ASTM D5185 18) <1,0
Bário, mg/kg	(ASTM D5185 18) <3,00
Ferro, mg/kg	(ASTM D5185 18) 1,7
Cromo, mg/kg	(ASTM D5185 18) <1,0
Chumbo, mg/kg	(ASTM D5185 18) <10
Cobre, mg/kg	(ASTM D5185 18) <1,0
Estanho, mg/kg	(ASTM D5185 18) <10
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório	
Conclusões das análises	
	A amostra analisada apresenta suas características físico-químicas dentro do esperado para um produto em uso.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos reais analise são apresentados conforme o método referenciado. 4 - A estimativa de incerteza de medição é conhecida e encaminhada se solicitado. 5 - Amostras coletada pelo cliente. 6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço. 9 - A unidade de medida de ppm foi alterada para mg/kg.	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado










RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-240415-00033	
PUC – Sociedade Mineira de Cultura Avenida Dom José Gaspar, nº 500, Coração Eucarístico 30535-901 Belo Horizonte (MG), BRAZIL	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de Identificação: Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: MWM 229/4 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-240415-00033
Resultado	
Número EVERLUB	
Data de Coleta	20/03/2024
Data de Chegada	15/04/2024
Data de Análise	19/04/2024
Horas do Veículo	-
Horas óleo	8
Alumínio, mg/kg (ASTM D6105 18)	<3.0
Níquel, mg/kg (ASTM D6105 18)	<3.0
Prata, mg/kg (ASTM D6105 18)	<1.0
Sódio, mg/kg (ASTM D6105 18)	<10
Sódio, mg/kg (ASTM D6105 18)	<3.0
Fuligem, Abs/cm (ASTM E 2412 23)	5.0
Oxidação, Abs/cm (ASTM D714 22)	0.0
Nitração, Abs/cm (ASTM D7624 22)	0.0
Sulfetação, Abs/cm (ASTM D7415 22)	0.0
Teor De Água (NOR 1026)	Ausente
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório	
Conclusões das análises	
	A amostra analisada apresenta suas características físico-químicas dentro do esperado para um produto em uso.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos nestas análises são apresentados conforme o método referenciado. 4 - A estimativa de incerteza de medição é conhecida e encaminhada ao usuário. 5 - Amostra coletada pelo cliente. 6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço. 9 - A unidade de medida de ppm foi alterada para mg/kg.	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
	PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A. - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL
ID de Revisão do Relatório: 1049237-1	página 2 de 2 Data de Impressão: 24/04/2024










RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-240415-00033	
PUC – Sociedade Mineira de Cultura Avenida Dom José Gaspar, nº 500, Coração Eucarístico 30535-901 Belo Horizonte (MG), BRAZIL	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de Identificação: Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: MWM 229/4 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-240415-00033
Resultado	
Número EVERLUB	
Data de Coleta	20/03/2024
Data de Chegada	15/04/2024
Data de Análise	19/04/2024
Horas do Veículo	-
Horas óleo	8
Alumínio, mg/kg (ASTM D6105 18)	<3.0
Níquel, mg/kg (ASTM D6105 18)	<3.0
Prata, mg/kg (ASTM D6105 18)	<1.0
Silício, mg/kg (ASTM D6105 18)	<10
Sódio, mg/kg (ASTM D6105 18)	<3.0
Fuligem, Abs/cm (ASTM E 2412 23)	5.0
Oxidação, Abs/cm (ASTM D714 22)	0.0
Nitração, Abs/cm (ASTM D7624 22)	0.0
Sulfatação, Abs/cm (ASTM D7145 22)	0.0
Teor De Água (NOR 1026)	Ausente
<p>As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório</p>	
Conclusões das análises	
	<p>A amostra analisada apresenta suas características físico-químicas dentro do esperado para um produto em uso.</p>
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
<p>1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos nestas análises são apresentados conforme o método referenciado. 4 - A estimativa de incerteza de medição é conhecida e encaminhada ao usuário. 5 - Amostra coletada pelo cliente. 6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço. 9 - A unidade de medida de ppm foi alterada para mg/kg.</p>	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
	PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A. - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL
ID de Revisão do Relatório: 1049237-1	página 2 de 2 Data de Impressão: 24/04/2024







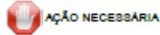


RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-240415-00033	
PUC – Sociedade Mineira de Cultura Avenida Dom José Gaspar, nº 500, Coração Eucarístico 30535-901 Belo Horizonte (MG), BRAZIL	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de Identificação: Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: MWM 229/4 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-240415-00033
Resultado	
Número EVERLUB	
Data de Coleta	20/03/2024
Data de Chegada	15/04/2024
Data de Análise	19/04/2024
Horas do Veículo	-
Horas óleo	8
Alumínio, mg/kg (ASTM D6105 18)	<3.0
Níquel, mg/kg (ASTM D6105 18)	<3.0
Prata, mg/kg (ASTM D6105 18)	<1.0
Silício, mg/kg (ASTM D6105 18)	<10
Sódio, mg/kg (ASTM D6105 18)	<3.0
Fuligem, Abs/cm (ASTM E 2412 23)	5.0
Oxidação, Abs/cm (ASTM D714 22)	0.0
Nitração, Abs/cm (ASTM D7624 22)	0.0
Sulfatação, Abs/cm (ASTM D7145 22)	0.0
Teor De Água (NOR 1026)	Ausente
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório	
Conclusões das análises	
	A amostra analisada apresenta suas características físico-químicas dentro do esperado para um produto em uso.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos nestas análises são apresentados conforme o método referenciado. 4 - A estimativa de incerteza de medição é conhecida e encaminhada ao usuário. 5 - Amostra coletada pelo cliente. 6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço. 9 - A unidade de medida de ppm foi alterada para mg/kg.	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A. - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL	
	ID de Revisão do Relatório: 1049237-1
página 2 de 2	Data de Impressão: 24/04/2024







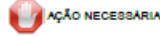


RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-240415-00033	
PUC – Sociedade Mineira de Cultura Avenida Dom José Gaspar, nº 500, Coração Eucarístico 30535-901 Belo Horizonte (MG), BRAZIL	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de Identificação: Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: MWM 229/4 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-240415-00033
Resultado	
Número EVERLUB	
Data de Coleta	20/03/2024
Data de Chegada	15/04/2024
Data de Análise	19/04/2024
Horas do Veículo	-
Horas óleo	8
Alumínio, mg/kg (ASTM D6105 18)	<3.0
Níquel, mg/kg (ASTM D6105 18)	<3.0
Prata, mg/kg (ASTM D6105 18)	<1.0
Silício, mg/kg (ASTM D6105 18)	<10
Sódio, mg/kg (ASTM D6105 18)	<3.0
Fuligem, Abs/cm (ASTM E 2412 23)	5.0
Oxidação, Abs/cm (ASTM D714 22)	0.0
Nitração, Abs/cm (ASTM D7624 22)	0.0
Sulfatação, Abs/cm (ASTM D7145 22)	0.0
Teor De Água (NOR 1026)	Ausente
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório	
Conclusões das análises	
	A amostra analisada apresenta suas características físico-químicas dentro do esperado para um produto em uso.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos nestas análises são apresentados conforme o método referenciado. 4 - A estimativa de incerteza de medição é conhecida e encaminhada ao usuário. 5 - Amostra coletada pelo cliente. 6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço. 9 - A unidade de medida de ppm foi alterada para mg/kg.	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A. - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL	
	ID de Revisão do Relatório: 1049237-1
página 2 de 2	Data de Impressão: 24/04/2024







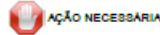


RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-240415-00034	
PUC – Sociedade Mineira de Cultura Avenida Dom José Gaspar, nº 500, Coração Eucarístico 30535-901 Belo Horizonte (MG), BRAZIL	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de Identificação: Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: MWM 229/4 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-240415-00034
Resultado	
Número EVERLUB	
Data de Coleta	22/03/2024
Data de Chegada	15/04/2024
Data de Análise	15/04/2024
Horas do Veículo	-
Horas óleo	12
Cor	(Visual) Preto
Aspecto	(MA) (995-Rev.03) Típico de óleo usado
Viscosidade a 100°C, mm2/s	(ASTM D445 21x2) 13,20
Viscosidade a 40°C, mm2/s	(ASTM D445 21x2) 89,27
Índice de viscosidade	(ASTM D2270) 148
TBN, mg KOH/g	(ASTM D2296 2) (Proc-A) 10,2
Cálcio, mg/kg	(ASTM D5185 1S) 3470
Magnésio, mg/kg	(ASTM D5185 1S) 20,4
Fósforo, mg/kg	(ASTM D5185 1S) 882
Zinco, mg/kg	(ASTM D5185 1S) 942
Molibdênio, mg/kg	(ASTM D5185 1S) 35
Cádmio, mg/kg	(ASTM D5185 1S) <3,00
Manganês, mg/kg	(ASTM D5185 1S) <1,0
Titânio, mg/kg	(ASTM D5185 1S) <1,0
Vanádio, mg/kg	(ASTM D5185 1S) <1,0
Bário, mg/kg	(ASTM D5185 1S) <3,00
Ferro, mg/kg	(ASTM D5185 1S) 2,0
Cromo, mg/kg	(ASTM D5185 1S) <1,0
Chumbo, mg/kg	(ASTM D5185 1S) <10
Cobre, mg/kg	(ASTM D5185 1S) <1,0
Estanho, mg/kg	(ASTM D5185 1S) <10
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório	
Conclusões das análises	
	A amostra analisada apresenta suas características físico-químicas dentro do esperado para um produto em uso.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
<ol style="list-style-type: none"> 1- Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2- O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3- Os métodos reais analise são apresentados conforme o método referenciado. 4- A exatidão de precisão de medição é conhecida e encarecida se solicitado. 5- Amostra coletada pelo cliente. 6- O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7- O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8- A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço. 9- A unidade de medida de ppm foi alterada para mg/kg. 	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LaAm Signatário Autorizado
PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL	
	ID de Revisão do Relatório: 1049238-1
página 1 de 2	Data de Impressão: 24/04/2024

RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-240415-00034	
PUC – Sociedade Mineira de Cultura Avenida Dom José Gaspar, nº 500, Coração Eucarístico 30535-901 Belo Horizonte (MG), BRAZIL	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de identificação: Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: MWM 229/4 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-240415-00034
Resultado	
Número EVERLUB	
Data de Coleta	22/03/2024
Data de Chegada	15/04/2024
Data de Análise	19/04/2024
Horas do Veículo	-
Horas óleo	12
Alumínio, mg/kg (ASTM D9105 18)	<3.0
Níquel, mg/kg (ASTM D9105 18)	<3.0
Prata, mg/kg (ASTM D9105 18)	<1.0
Sódio, mg/kg (ASTM D9105 18)	<1.0
Sódio, mg/kg (ASTM D9105 18)	<3.0
Fuligem, Abs/cm (ASTM E 2412 23)	4.0
Oxidação, Abs/cm (ASTM D714 22)	10.0
Nitração, Abs/cm (ASTM D7024 22)	0.0
Sulfetação, Abs/cm (ASTM D7415 22)	0.0
Teor De Água (NBR 1626)	Ausente
<p>As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório</p>	
Conclusões das análises	
	A amostra analisada apresenta suas características físico-químicas dentro do esperado para um produto em uso.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos nestas análises são apresentados conforme o método referenciado. 4 - A estimativa de incerteza de medição é conhecida e incorporada ao resultado. 5 - Amostra coletada pelo cliente. 6 - O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à coleta/leitura do ensaio. 9 - A unidade de medida de ppm foi alterada para mg/kg.	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LubAm Signatário Autorizado
	PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL
ID de Revisão do Relatório: 1049238-1	página 2 de 2 Data de Impressão: 24/04/2024

RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-240415-00035	
PUC – Sociedade Mineira de Cultura Avenida Dom José Gaspar, nº 500, Conaço Eucarístico 30635-901 Belo Horizonte (MG), BRAZIL	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MMM N. de identificação: Capéc. óleo Compat.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: MMM 2204 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-240415-00035
Resultado	
Número EVERLUB	
Data de Coleta	25/03/2024
Data de Chegada	15/04/2024
Data de Análise	19/04/2024
Nome do Veículo	-
Horas óleo	15
Cor (Óleo)	Preto
Aspecto (PUC 09 Rev 02)	Tipo de óleo usado
Viscosidade a 100°C, mm²/s (ASTM D445 2nd)	11,40
Viscosidade a 40°C, mm²/s (ASTM D445 2nd)	70,89
Índice de viscosidade (ASTM D2271)	154
TBN, mg KOH/g (ASTM D2892)	10,1
Chumbo, mg/kg (ASTM D5185)	330
Magnésio, mg/kg (ASTM D5185)	14,6
Fósforo, mg/kg (ASTM D5185)	840
Zinco, mg/kg (ASTM D5185)	905
Índolo, mg/kg (ASTM D5185)	34
Cádmio, mg/kg (ASTM D5185)	<-0,00
Manganês, mg/kg (ASTM D5185)	<-1,0
Tântalo, mg/kg (ASTM D5185)	<-1,0
Vanádio, mg/kg (ASTM D5185)	<-1,0
Bário, mg/kg (ASTM D5185)	<-0,00
Ferro, mg/kg (ASTM D5185)	2,4
Cromo, mg/kg (ASTM D5185)	<-1,0
Chumbo, mg/kg (ASTM D5185)	<-1,0
Cobre, mg/kg (ASTM D5185)	<-1,0
Selenio, mg/kg (ASTM D5185)	<-1,0
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório	
Conclusões das análises	
	Alerta para viscosidade abaixo do esperado para o produto em uso. A amostra analisada apresenta as demais características físico-químicas dentro do esperado para um produto em uso.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
1- Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2- O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3- Os métodos testes usados são apresentados conforme o método referenciado. 4- A exatidão de qualquer determinação é limitada e influenciada por vários fatores. 5- Amostras coletadas pelo cliente. 6- O cliente de armazenamento é de responsabilidade do cliente. 7- O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8- A falta de cuidado de armazenamento de amostras no documento encaminhado posteriormente é responsabilidade do cliente. 9- A unidade de medida de ppm foi arredondada para mg/kg.	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
	PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A. - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL
ID de Revisão do Relatório: 1040239-1	página 1 de 2 Data de Impressão: 24/04/2024

RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-240415-00035	
PUC – Sociedade Mineira de Cultura Avenida Dom José Gaspar, nº 500, Coração Eucarístico 30535-901 Belo Horizonte (MG), BRAZIL	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de Identificação: Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: MWM 229/4 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-240415-00035
Resultado	
Número EVERLUB	
Data de Coleta	25/03/2024
Data de Chegada	15/04/2024
Data de Análise	19/04/2024
Horas do Veículo	-
Horas óleo	15
Alumínio, mg/kg (ASTM D6105 18)	<3.0
Níquel, mg/kg (ASTM D6105 18)	<3.0
Prata, mg/kg (ASTM D6105 18)	<1.0
Silício, mg/kg (ASTM D6105 18)	<1.0
Sódio, mg/kg (ASTM D6105 18)	<3.0
Fuligem, Abs/cm (ASTM E 2412 23)	4.0
Oxidação, Abs/cm (ASTM D714 22)	19.0
Nitração, Abs/cm (ASTM D7624 22)	0.0
Sulfatação, Abs/cm (ASTM D7415 22)	0.0
Teor De Água (NIR 1036)	Ausente
<p>As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório</p>	
Conclusões das análises	
	<p>Alerta para viscosidade abaixo do esperado para o produto em uso. A amostra analisada apresenta as demais características físico-químicas dentro do esperado para um produto em uso.</p>
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
<ol style="list-style-type: none"> 1- Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2- O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3- Os métodos reais analise são apresentados conforme o método referenciado. 4- A exatidão de frequência de medição é controlada e encaminhada ao solicitado. 5- Amostra coletada pelo cliente. 6- O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7- O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8- A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço. 9- A unidade de medida de ppm foi alterada para mg/kg. 	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL	
	ID de Revisão do Relatório: 1049239-1
página 2 de 2	Data de Impressão: 24/04/2024

RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-240415-00036	
PUC – Sociedade Mineira de Cultura Avenida Dom José Gaspar, nº 500, Coração Eucarístico 30535-901 Belo Horizonte (MG), BRAZIL	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de identificação: Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: MWM 229/4 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-240415-00036
Resultado	
Número EVERLUB	
Data de Coleta	08/04/2024
Data de Chegada	15/04/2024
Data de Análise	19/04/2024
Horas do Veículo	-
Horas óleo	23
Cor	(Real) Preto
Aspecto	(MA) 099-Rev.03 Tipo de óleo usado
Viscosidade a 100°C, mm ² /s	(ASTM D445 21x2) 12.15
Viscosidade a 40°C, mm ² /s	(ASTM D445 21x2) 80.08
Índice de viscosidade	(ASTM D2270) 147
TBN, mg KOH/g	(ASTM D2296 21) 9.8
Calcio, mg/kg	(ASTM D6185 15) 3320
Magnésio, mg/kg	(ASTM D6185 15) 21.6
Fósforo, mg/kg	(ASTM D6185 15) 843
Zinco, mg/kg	(ASTM D6185 15) 901
Molibdênio, mg/kg	(ASTM D6185 15) 34
Cádmio, mg/kg	(ASTM D6185 15) <3.00
Manganês, mg/kg	(ASTM D6185 15) <1.0
Titânio, mg/kg	(ASTM D6185 15) <1.0
Vanádio, mg/kg	(ASTM D6185 15) <1.0
Bário, mg/kg	(ASTM D6185 15) <3.00
Ferro, mg/kg	(ASTM D6185 15) 3.3
Cromo, mg/kg	(ASTM D6185 15) <1.0
Chumbo, mg/kg	(ASTM D6185 15) <10
Cobre, mg/kg	(ASTM D6185 15) 2.1
Estanho, mg/kg	(ASTM D6185 15) <10
As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório	
Conclusões das análises	
	Alerta para teor de oxidação elevado e viscosidade abaixo do esperado para o produto em uso. A amostra analisada apresenta as demais características físico-químicas dentro do esperado para um produto em uso.
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
1 - Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2 - O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3 - Os métodos nestes ensaios são apresentados conforme o método referenciado. 4 - A estimativa de incerteza de medição é conhecida e encaminhada ao solicitado. 5 - Amostras coletadas pelo cliente. 6 - O prazo de entrega é de responsabilidade do cliente. 7 - O prazo de validade das análises é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8 - A regra de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço. 9 - A unidade de medida de ppm foi alterada para mg/kg.	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
	PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A. - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL
ID de Revisão do Relatório: 1049240-1	página 1 de 2
	Data de Impressão: 24/04/2024

RELATÓRIO DE ANÁLISE: S-240415-00036	
PUC – Sociedade Mineira de Cultura Avenida Dom José Gaspar, nº 500, Coração Eucarístico 30535-901 Belo Horizonte (MG), BRAZIL	
Informações do equipamento	
Produto: PETRONAS URANIA 3000 SE Descrição: PETRONAS URANIA 3000 SE Marca: MWM N. de Identificação: Capac. óleo Compart.:	Comp. Mecânico: Motor Modelo: MWM 229/4 Chassi/Placa: Vol. óleo Reserv.:
Informações da Amostra	
Número da Amostra	S-240415-00036
Resultado	
Número EVERLUB	
Data de Coleta	08/04/2024
Data de Chegada	15/04/2024
Data de Análise	15/04/2024
Horas do Veículo	-
Horas óleo	23
Alumínio, mg/kg (ASTM D6185 15)	<3.0
Níquel, mg/kg (ASTM D6185 15)	<3.0
Prata, mg/kg (ASTM D6185 15)	<1.0
Silício, mg/kg (ASTM D6185 15)	<10
Sódio, mg/kg (ASTM D6185 15)	3.9
Fuligem, Abs/cm (ASTM E 2412 22)	5.0
Oxidação, Abs/cm (ASTM D714 22)	43.0
Nitração, Abs/cm (ASTM D7024 22)	0.0
Sulfatação, Abs/cm (ASTM D7115 22)	0.0
Teor De Água (NBR 10261)	Ausente
<p>As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo de acreditação deste laboratório</p>	
Conclusões das análises	
	<p>Aleria para teor de oxidação elevado e viscosidade abaixo do esperado para o produto em uso. A amostra analisada apresenta as demais características físico-químicas dentro do esperado para um produto em uso.</p>
	 NORMAL  ATENÇÃO  AÇÃO NECESSÁRIA
<p>1- Os resultados referem-se apenas aos itens analisados. 2- O relatório de análise só deverá ser reproduzido completo. Reprodução parcial requer aprovação por escrito do laboratório. 3- Os métodos reais analíticos são apresentados conforme o método referenciado. 4- A estimativa de incerteza de medição é conhecida e encaminhada se solicitado. 5- Amostra coletada pelo cliente. 6- O plano de amostragem é de responsabilidade do cliente. 7- O prazo de validade das amostras é de 30 dias após a liberação dos resultados. 8- A nega de decisão de conformidade se baseia no documento encaminhado previamente à contratação do serviço. 9- A unidade de medida de ppm foi alterada para mg/kg.</p>	 Wellington Alves Freitas Gerente de Desenvolvimento de Produtos LatAm Signatário Autorizado
PETRONAS LUBRIFICANTES BRASIL S.A - Av. Trajano de Araújo Viana, 2500, Bairro Cinco, Contagem, Minas Gerais, BRASIL	
	ID de Revisão do Relatório: 1049240-1
página 2 de 2	Data de Impressão: 24/04/2024