



Universidade Eduardo Mondlane
Faculdade de Engenharia
Departamento de Engenharia Química
Licenciatura em Engenharia Química
Trabalho de Licenciatura

Tema:

**FORMULAÇÃO DE UM LUBRIFICANTE AUTOMOTIVO À BASE DE
LÍQUIDO DA CASCA DE CASTANHA DE CAJU**

Autor:

Wilson da Silva Alexandre Raimundo

Supervisor:

Prof. Doutor António Cumbane, Eng^o.

Maputo, Novembro de 2024



Universidade Eduardo Mondlane
Faculdade de Engenharia
Departamento de Engenharia Química
Licenciatura em Engenharia Química
Trabalho de Licenciatura

Tema:

**FORMULAÇÃO DE UM LUBRIFICANTE AUTOMOTIVO À BASE DE
LÍQUIDO DA CASCA DE CASTANHA DE CAJU**

Autor:

Wilson da Silva Alexandre Raimundo

Supervisor:

Prof. Doutor António Cumbane, Eng^o.

Maputo, Novembro de 2024



Universidade Eduardo Mondlane

Faculdade de Engenharia

Departamento de Engenharia Química

**TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO DO TRABALHO DE
LICENCIATURA**

Declaro que o estudante finalista Wilson da Silva Alexandre Raimundo entregou no dia ___ / ___ / 2024 as ___ cópias do relatório do seu Trabalho de Licenciatura com a referência _____ intitulado: Formulação de um lubrificante automotivo à base de líquido da casca de castanha de caju.

Maputo, ____ de Novembro de 2024

A Chefe da Secretaria

Declaração de Honra

Eu, Wilson da Silva Alexandre Raimundo, declaro por minha honra que este relatório de trabalho de licenciatura é da minha autoria e resulta da minha investigação. Esta é a primeira vez que o submeto para obter um grau académico numa instituição educacional.

Maputo, aos ____ de _____ de 2024

Wilson da Silva Alexandre Raimundo

Dedicatória

Dedico esta monografia aos meus pais,

Alexandre Raimundo Malua e Albertina Rafael João Malua,

que com amor cuidaram de mim e com muita paciência educaram-me,

firmes na esperança de um dia ver seu filho crescido e bem-sucedido.

Agradecimentos

Terminada mais uma etapa da primeira fase da minha vida, a licenciatura em Engenharia Química, gostaria de tecer agradecimentos a cada familiar, amigo ou professor que desempenhou um papel importantíssimo nesta jornada.

Aos meus colegas de faculdade, e de modo especial, João Pery, Márcio Mabote, Anatórcia Pacule, Sixpence Guecuete e Jovex Manecas, que sempre estiveram ao meu lado a compartilhar o seu conhecimento e a ajudar nos momentos de dificuldades académicas, endereço cordiais saudações e agradecimentos.

A todos os meus amigos, com destaque Lourenço Cumbane, Paula Chilengue e mui especialmente Stefânea Cardoso, que individualmente contribuíram positivamente para o meu crescimento espiritual e intelectual durante uma das mais importantes fases do meu percurso de vida, endereço de modo particular um caloroso e especial abraço de gratidão.

Ao Dr. António Cumbane que pacientemente me auxiliou e direccionou desde a escolha do tema até a elaboração da tese de licenciatura, endereço uma sincera e respeitosa saudação de agradecimento.

Ao professor Beriate Luís Paruque, melhor referência de professor de Química que já tive, que despertou em mim o incessante amor pela Química e o desejo inabalável de mergulhar e prosseguir nesta área excepcional, apresento de forma especial a minha gratidão.

Aos meus pais, Alexandre Malua e Albertina Malua, e irmãos, Julieta, Alexandre, Amélia e Beatriz, que de modo único, inexplicável e incondicional me ajudaram com inúmeros recursos (amor, conselhos, repreensões, tempo, finanças, entre outros), as mais vívidas saudações e os mais sinceros e emocionantes agradecimentos.

Finalmente, a Jesus, o único e melhor padrão de personalidade, comprometimento e disciplina que poderia e continuarei a seguir, apresento incontáveis e mais impactantes agradecimentos.

Resumo

A necessidade de lubrificação para a redução de atrito nas diferentes máquinas, com destaque os automóveis, é fundamental no dia-a-dia. Por muito tempo, óleos lubrificantes à base de produtos petrolíferos vêm a ser usados, mas devido às exigências ambientais torna-se crucial usar biolubrificantes, pois estes além de proporcionarem excelente lubrificação são menos nocivos ao ambiente. Neste trabalho propõe-se a aplicação do líquido da casca de castanha de caju como óleo base (CNSL) para a formulação de um lubrificante automotivo. Para efeito, determinou-se, para três lubrificantes (óleos de motor) e duas amostras de CNSL (natural e técnico), as principais propriedades dos óleos lubrificantes (densidade à 15°C, viscosidade cinemática à 40 e 100°C, índice de viscosidade, ponto de fluidez e ponto de inflamação) de acordo com padrões ASTM e fez-se a análise comparativa a fim de melhor inferir sobre as propriedades de lubrificação e a necessidade de aditivação. O CNSL natural apresentou densidade de 0,9615 g/cm³, viscosidade cinemática de 71,7 cSt à 40°C e 8,7 cSt à 100°C, índice de viscosidade (VI) de 90,2 e ponto de fluidez de - 21°C, o que permitiu concluir que possui boas propriedades, mas devido à baixa viscosidade cinemática quando comparada com a dos lubrificantes analisados não era adequado para uma formulação de um óleo de motor para automóveis. Contudo, com um estudo mais exaustivo é provável que se obtenha uma formulação à base de CNSL natural. Também se constatou que é possível obter formulações de óleo de motor para motorizadas e óleo de sistemas de transmissão para automóveis a partir de CNSL natural. Importa referir que devido a um inconveniente ocorrido durante o ensaio de ponto de inflamação, não foi possível determinar os pontos de inflamação de ambas amostras de CNSL. Quanto ao CNSL técnico, este apresentou densidade de 0,9786 g/cm³, viscosidade cinemática de 141,7 cSt à 40°C e 12,9 cSt à 100°C, VI de 79,4 e ponto de fluidez de - 30°C. Isto permitiu concluir que o CNSL técnico possui propriedades mais apropriadas para a formulação, chegando a ser muito próximas das propriedades dos lubrificantes analisados. Entretanto, o índice de viscosidade verificou-se intermédio, por isso propôs-se a incorporação de melhoradores de índice de viscosidade com vista a torná-lo alto para produzir-se um lubrificante de maior qualidade. Para completar a formulação propôs-se a incorporação de aditivos antidesgaste e antiespuma.

Palavras-chaves: lubrificação, biolubrificante, viscosidade, líquido da casca de castanha de caju, óleo base, aditivação.

Índice

Capítulo 1 – Introdução	1
1.1. Problema de Pesquisa	2
1.2. Justificativa	2
1.3. Objectivos	3
1.3.1. Objectivo Geral	3
1.3.2. Objectivos Específicos	4
1.4. Metodologia	4
Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica	5
2.1. A história dos lubrificantes	5
2.2. Os lubrificantes e a sua composição	6
2.2.1. Composição.....	7
2.3. Principais características dos lubrificantes	8
2.4. Critérios de qualidade dos lubrificantes.....	11
2.4.1. Society of Automotive Engineers (SAE)	11
2.4.2. American Petroleum Institute (API)	13
2.5. Aditivos.....	14
Capítulo 3 – Metodologia	18
3.1. Pesquisa Bibliográfica	18
3.2. Aquisição das Amostras.....	18
3.3. Experiências Laboratoriais.....	19
3.3.1. Materiais usados.....	19
3.3.2. Fluxograma dos ensaios realizados	21
3.3.3. Procedimentos	21
Capítulo 4 – Apresentação e Análise de Resultados	28
4.1. Resultados do ensaio de densidade	28
4.2. Resultados do ensaio de viscosidade	28

4.3. Resultados da determinação do índice de viscosidade	32
4.4. Resultados do ensaio de ponto de fluidez	33
4.5. Resultados do ensaio de ponto de inflamação	34
4.6. Aditivação	35
Capítulo 5 – Conclusões e Recomendações	37
5.1. Conclusões	37
5.2. Recomendações.....	38
Capítulo 6 – Referências Bibliográficas	39

Lista de Símbolos e Abreviaturas

%: por cento

ν : viscosidade cinemática

$\nu_{100^{\circ}\text{C}}$: viscosidade cinemática à 100°C

ν_m : viscosidade cinemática média

$\rho_{T_{\text{amb}}}$: densidade à temperatura ambiente

ρ : densidade ou massa específica

$\rho_{15^{\circ}\text{C}}$: densidade à 15°C

$\rho_{20^{\circ}\text{C}}$: densidade à 20°C

ρ_{tab} : densidade tabelada

°C: grau Celcius

a.C.: antes de Cristo

ACEA: *Association des Constructeurs Européens d'Automobiles*

API: *American Petroleum Institute*

ASTM: *American Standard for Testing and Materials*

Ba: bário

C: *compression*

Ca: cálcio

CCS: *cold crack simulator*

CNSL: *cashew nut shell liquid* (líquido da casca de castanha de caju)

cP: *centipoise*

cSt: *centistoke*

g: grama

g/cm³: grama por centímetro cúbico

g/mol: grama por mol

H: viscosidade cinemática do óleo de maior índice de viscosidade à 40°C

K: potássio

l: litro

L: viscosidade cinemática do óleo de menor índice de viscosidade à 40°C

m²/s: metro quadrado por segundo

Mg: magnésio

ml: mililitro

Mo: molibdénio

MRV: *mini-rotatory viscometer*

Na: sódio

s: segundo

S: *spark*

SAE: Society of Automotive Engineers

T: temperatura

T_{amb}: temperatura ambiente

t: tempo

U: viscosidade cinemática do óleo em estudo à 40°C

VI: *viscosity index* (índice de viscosidade)

W: *winter*

Y: viscosidade cinemática do óleo em estudo à 100°C

Zn: zinco

Lista de Figuras

Figura 1: Evolução da Classificação API para lubrificantes de motores a ignição.....	14
Figura 2: Evolução da Classificação API para lubrificantes de motores a compressão.	14
Figura 3: CNSL natural	18
Figura 4: CNSL técnico.....	18
Figura 5: Fluxograma dos ensaios	21
Figura 6: Determinação da densidade do óleo Petromoc SAE 20W-50.....	24
Figura 7: Viscosímetro de 40 °C.....	25
Figura 8: Cronómetro	25
Figura 9: Viscosímetro de 100 °C.....	25
Figura 10: Capilar 150/642 C	25
Figura 11: Determinação do ponto de fluidez de algumas amostras.....	26
Figura 12: Determinação do ponto de inflamação.....	27
Figura 13: Copo para medição do ponto de inflamação	27
Figura 14: Gráfico da viscosidade cinemática à 40°C	30
Figura 15: Gráfico da viscosidade cinemática à 100°C	31
Figura 16: Gráfico do índice de viscosidade das amostras.....	32
Figura 17: Gráfico do ponto de fluidez das amostras	33

Lista de Tabelas

Tabela 1: Classificação das bases lubrificantes	8
Tabela 2: Classificação SAE de viscosidades para óleos de motor.....	12
Tabela 3: Lista de aditivos de acordo com o tipo de motor.....	17
Tabela 4: Lista de reagentes	19
Tabela 5: Lista de lubrificantes	19
Tabela 6: Lista de principais materiais e equipamentos	20
Tabela 7: Lista de padrões ASTM usados	21
Tabela 8: Densidades das amostras à temperatura de 15°C.....	28
Tabela 9: Resultados da determinação de viscosidade cinemática à 40°C.....	29
Tabela 10: Resultados da determinação de viscosidade cinemática à 100°C.....	29
Tabela 11: Índices de viscosidade das amostras.....	32
Tabela 12: Pontos de fluidez das amostras.....	33
Tabela 13: Pontos de inflamação das amostras (ASTM D93).....	34
Tabela 14: Avaliação das propriedades a melhorar.....	35
Tabela 15: Proposta de formulação do lubrificante automotivo.....	36

Capítulo 1 – Introdução

Ainda nos primórdios da civilização, realizaram-se diversas tentativas de transportar materiais de um lugar para outro. Os maiores desafios enfrentados estavam relacionados com a minimização do atrito. Durante esse desenvolvimento, inventou-se a roda, que reduziu significativamente o atrito e formou o núcleo de todo o actual sistema de transporte à base de superfícies, por exemplo, veículos automóveis. Contudo, a sobrevivência desses sistemas de transporte dependia da minimização do atrito e do desgaste. A revolução industrial dos séculos XIX e XX também apresentou desafios semelhantes; a lubrificação das superfícies em interacção tornou-se um requisito essencial de todos sistemas deslizantes (GHOSH *et al.*, 2013).

Os lubrificantes são substâncias que quando colocadas entre duas superfícies, formam uma película protectora que tem como função principal reduzir o atrito, podendo também reduzir o desgaste, auxiliar no controle da temperatura e na protecção de componentes de máquinas e motores (MEIRA, 2021).

Actualmente existe uma diversidade de lubrificantes, podendo estes ser sólidos, líquidos ou gasosos. O termo “óleos lubrificantes” é geralmente empregue para incluir todas as classes de materiais lubrificantes que são aplicados como fluidos (PIRRO e WESSOL, 2001). Esses lubrificantes são obtidos pela mistura de um óleo base com aditivos que melhoram propriedades específicas. Apesar de grande maioria da base lubrificante mundial ser obtida pelo refino de destilados ou fracções residuais obtidas directamente do petróleo bruto, por razões ambientais, tem-se optado por usar óleos vegetais como insumo para a elaboração de óleos lubrificantes.

O líquido da casca de castanha de caju (CNSL, do inglês *cashew nut shell liquid*) é um líquido viscoso que contém uma mistura de lipídios fenólicos, obtido do mesocarpo esponjoso da casca da castanha de caju. Esta casca de caju apresenta baixo valor comercial, mas importância tecnológica relativamente elevada devido à sua constituição fenólica. O CNSL, com seu custo-benefício e natureza renovável, pode ser um substituto do fenol em muitas aplicações industriais, o que é um excelente caso de manejo de uma substância derivada sinteticamente e de aproveitamento de um subproduto agrícola barato (Ike *et al.*, 2021).

Com este trabalho, pretende-se desenvolver a formulação de um óleo lubrificante à base de CNSL. Para tal, será necessário caracterizar o CNSL e alguns lubrificantes já

existentes, e em seguida fazer a análise comparativa entre as propriedades observadas, a fim de identificar as propriedades que precisarão ser aprimoradas durante a formulação, e no final propor uma formulação.

1.1. Problema de Pesquisa

O actual uso industrial de óleo mineral (derivado do petróleo) como óleo base padrão para a formulação de lubrificantes mostra bons resultados no desempenho de seu papel de fornecer lubrificação excelente e ampla. No entanto, com o aumento da industrialização e a alteração das políticas ambientais, as leis ambientais tornam-se mais rigorosas e obrigatórias, facto que leva governos a atentar mais para as condições do meio ambiente, impondo diversas barreiras ao uso de produtos não sustentáveis e ambientalmente nocivos (BART *et al.*, 2013).

O descarte de óleo mineral não biodegradável leva à degeneração dos ecossistemas aquáticos e terrestres, surgindo, deste modo, a necessidade de lubrificantes biodegradáveis na indústria. Muitos estudos anteriores focaram no uso de óleos vegetais, como óleo de soja e óleo de girassol para o desenvolvimento de lubrificantes biodegradáveis, tendo estes mostrado resultados promissores em comparação com óleos sintéticos.

O CNSL é um óleo biodegradável com diversas aplicações industriais (Ike *et al.*, 2021). Dentre as diversas aplicações possíveis, o uso do CNSL como óleo base para a produção de lubrificantes automotivos ainda carece de estudo, pelo que se coloca a seguinte questão: será que as propriedades do CNSL permitem que seja usado como óleo base para a produção de lubrificantes automotivos?

1.2. Justificativa

Segundo um estudo feito pelo Banco de Moçambique em 2021, a produção global da castanha de caju tem vindo a aumentar ao longo do tempo, e África destaca-se por ser o maior produtor deste insumo, tendo em 2019 contribuído em cerca de 59% da produção mundial (BANCO DE MOÇAMBIQUE, 2021). Em 2020, Moçambique tornou-se o quarto maior produtor da castanha de caju dentre os países africanos. Sua capacidade de produção permanece em grande parte inexplorada, com vastas áreas de terra disponíveis

para cultivo, o que representa uma oportunidade significativa de incrementar a sua produção e competir com os principais intervenientes no mercado global (DIÁRIO ECONÓMICO, 2023).

O principal produto do processamento da castanha de caju é a sua amêndoa. Entretanto, durante o processamento da castanha obtém-se também o CNSL, cujas propriedades conferem muitas aplicações industriais, o que é um excelente caso de manejo de uma substância derivada sinteticamente e de aproveitamento de um subproduto agrícola barato.

O uso de lubrificantes à base de óleos vegetais tem ganho espaço nos últimos anos como alternativa aos lubrificantes à base mineral, que têm como óleo base derivados do petróleo, pois estes apresentam alguns inconvenientes, dos quais se destaca a toxicidade ecológica (SALIH e SALIMON, 2021). Estudos revelam que pelo menos 50% de todo o lubrificante usado no mundo tem como destino final o meio ambiente, onde chega por evaporação, derrame ou acidente; facto que reforça a necessidade de substituição de óleos poluentes por óleos biodegradáveis e renováveis (FARFAN-CABRERA *et al.*, 2022).

A crescente demanda por biolubrificantes deve-se principalmente às exigências ambientais, porém, é possível mencionar algumas vantagens do uso de lubrificantes de base orgânica, em particular do CNSL, a saber:

- Capacidade de biodegradar-se;
- Constitui um recurso renovável;
- Efeito anticorrosivo;
- Alta miscibilidade com outros fluidos;
- Capacidade de lubrificação.

1.3. Objectivos

1.3.1. Objectivo Geral

- Desenvolver a formulação de um lubrificante automotivo à base de CNSL.

1.3.2. Objectivos Específicos

- Determinar propriedades físico-químicas do CNSL e de 3 óleos lubrificantes;
- Avaliar e comparar as propriedades físico-químicas do CNSL com as dos óleos lubrificantes;
- Incorporar aditivos para melhorar as propriedades de lubrificação do CNSL.

1.4. Metodologia

O estudo em questão realizar-se-á em três moldes:

(i) pesquisa bibliográfica em livros, artigos científicos, trabalhos de licenciatura e dissertações de mestrado, para obtenção de informação teórica sobre o tema e os métodos laboratoriais;

(ii) ensaios laboratoriais, a realizar no Laboratório do Departamento de Engenharia Química da Universidade Eduardo Mondlane e no Laboratório da Intertek, para obtenção dos dados relativos à caracterização físico-química;

(iii) tratamento e análise dos dados obtidos em laboratório, com vista a inferir a respeito do estudo.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

2.1. A história dos lubrificantes

Ainda nos primórdios da civilização, a necessidade de redução do atrito durante as actividades notou-se evidente. E, apesar do conceito científico de atrito ter sido mais estudado a partir do século XV e não se conhecer precisamente onde ocorreu o primeiro uso de substâncias redutoras de atrito (lubrificantes), é razoável pensar que o uso de tais substâncias seja posterior à invenção da roda.

O homem primitivo provavelmente tenha observado que o transporte de troncos e ramos se tornava mais fácil quando estes se encontrassem sem casca, devido à lubrificação proporcionada pelo escorrimento da seiva. Alguns dados pré-históricos do uso de lubrificantes apontam para o uso da lama ou juncos esmagados nos trenós arrastados durante o transporte de materiais como pedra e madeira. Estas são algumas evidências da antiguidade da lubrificação.

Após a invenção da roda, a necessidade da lubrificação tornou-se mais evidente. As primeiras carroças continham eixos e rolamentos de madeira; durante o transporte de cargas, o atrito existente resultava em ruído e dificuldades de escorregamento, pelo que o Homem começou a espalhar pedaços de gordura animal nas partes secas e rangentes fazendo com que a roda funcionasse silenciosa e suavemente (ANDERSON, 1991). O primeiro registro de um composto pastoso usado como lubrificante deu-se no Egito Antigo datado de 2600 a.C. – uma gordura animal chamada sebo era usada para lubrificar as rodas do trenó do Faraó – e até por volta de 1400 a.C., as rodas usadas nas carruagens egípcias continham vestígios de giz e gordura animal (HAYCOCK *et al.*, 2004).

Mais tarde, o ferro e o latão substituíram a madeira como peças móveis nas máquinas. Nesta época, pedaços brutos de gordura animal revelaram-se menos efectivos para a lubrificação, tendo-se, por isso, começado a usar misturas de óleos animais com óleos vegetais.

Com os avanços científicos e a escavação do primeiro poço de petróleo no século XIX, foram lançados pilares para a substituição do material base usado como lubrificante (MEIRA, 2021). Ainda neste período, deu-se a ascensão da indústria petrolífera, o que fez com que os lubrificantes à base de petróleo rapidamente dominassem o campo. É importante mencionar que o petróleo já era conhecido muito antes disso – desde os

antigos assírios e egípcios, que o utilizavam para iluminação e embalsamamento; os índios americanos usavam o petróleo bruto para fins medicinais; entre outros (ANDERSON, 1991).

Até meados do século XX, usou-se majoritariamente óleos provenientes do petróleo como matéria-prima para a produção de lubrificantes. Mas a partir de 1950, começou a desenvolver-se lubrificantes sintéticos, os quais ofereceram propriedades melhores em relação aos lubrificantes de base mineral, a título de exemplo, maior resistência ao calor e frio extremos e melhor desempenho à alta pressão e velocidade. Com o avanço dos estudos da área, desenvolveram-se lubrificantes para aplicações específicas, tais como motores de combustão interna e sistemas hidráulicos. Anos depois, por volta de 1990, engenheiros e especialistas da área começaram a desenvolver formulações que garantissem melhor eficiência energética.

Embora os lubrificantes existentes conseguissem satisfazer algumas das necessidades da época, notou-se a necessidade de desenvolver lubrificantes menos nocivos ao meio ambiente. Por isso, em 1970 estudiosos da área deram início do desenvolvimento de lubrificantes biodegradáveis, com vista a salvaguardar a integridade do ambiente.

Estudos actuais têm como enfoque não somente a eficiência energética, mas também o desempenho em condições extremas de temperatura e pressão e a redução do impacto ambiental.

2.2. Os lubrificantes e a sua composição

Os lubrificantes são substâncias que quando introduzidas entre duas superfícies em movimento relativo conseguem, como função principal, reduzir o atrito entre elas através de criação de um filme protector (MOBARAK, 2014). Além de sua função de reduzir o atrito, destacam-se as seguintes:

- Redução do desgaste;
- Acção anticorrosiva;
- Dissipação de calor;
- Limpeza e remoção de contaminantes.

2.2.1. Composição

Actualmente os lubrificantes consistem em duas porções: óleo base e aditivos. O óleo base compõe a maior fracção do lubrificante, podendo ser misturado com até 30% de aditivos, a fim de aprimorar e conferir determinadas características ao lubrificante (MANG e DRESEL, 2007).

Classificação dos óleos base

Os óleos usados para a produção de lubrificantes podem ter origem mineral, sintética e orgânica.

Os óleos base de origem mineral são compostos provenientes da extracção e refino do petróleo. Consistem essencialmente em hidrocarbonetos cujo peso molecular varia desde aproximadamente 250 g/mol (nos lubrificantes de baixa viscosidade) a 1000 g/mol (nos lubrificantes de elevada viscosidade), e perfazem mais de 95% dos lubrificantes disponíveis no mercado (KHONSANI e BOOSER, 2017). Esses hidrocarbonetos apresentam três estruturas básicas – parafinas, naftalenos e aromáticos – tendo destaque as parafinas, que constituírem 45 a 60% das bases lubrificantes, pois oferecem melhor resposta à aditivacção e consequente lubrificacção. Embora os lubrificantes de origem mineral sejam económicos e de fácil acesso, acarretam custos ao ambiente por advirem de uma fonte não renovável e não amiga da natureza, além de sofrerem oxidacção à altas temperaturas e consequente perda de viscosidade (SRIVYAS e CHAROO, 2018).

Por sua vez, os óleos base de origem sintética, são obtidos através de síntese química (CARVALHO, 2022). As sínteses destes óleos consistem em reacções de polimerizacção que resultam em compostos geralmente classificados como polialfaolefinas, polialquilenoglicóis e ésteres sintéticos (SRIVASTAVA e SHAVAI, 2013). Os óleos sintéticos são alternativa aos óleos minerais, porém se obtêm através da modificacção de óleos provenientes do petróleo. Em particular, as polialfaolefinas obtêm-se a partir de parafinas e permitem obter lubrificantes com maior desempenho, embora com menor capacidade de absorver aditivos, contudo essa barreira de aditivacção é superada através da incorporacção de ésteres ou óleos nafténicos (SRIVYAS e CHAROO, 2018).

Para terminar a classificação dos óleos base, tem-se os óleos base de origem orgânica, que são extraídos das gorduras animais e vegetais. Estes constituem a base dos biolubrificantes, que possuem a grande vantagem de ser amigos do ambiente, sendo, por isso, a melhor alternativa ao óleo mineral. Os óleos vegetais proporcionam, também:

- Índice de viscosidade alto;
- Excelentes propriedades de lubrificação;
- Menor ou nenhuma toxicidade à natureza;
- Alto ponto de inflamação
- Maior capacidade de biodegradar-se, além de serem recursos renováveis.

Em contrapartida, muitos óleos vegetais apresentam menor estabilidade oxidativa devido à presença de cadeias insaturadas (SRIVYAS e CHAROO, 2018).

A tabela apresenta de forma resumida a classificação das bases lubrificantes:

Base lubrificante	Principais compostos
Mineral	Parafinas Compostos nafténicos Compostos aromáticos
Sintética	Hidrocarbonetos sintéticos Ésteres sintéticos Polialquilenoglicóis
Orgânica	Gordura animal Óleo vegetal

Tabela 1: Classificação das bases lubrificantes

2.3. Principais características dos lubrificantes

As principais propriedades dos óleos lubrificantes são a densidade, a viscosidade, o índice de viscosidade, o ponto de fluidez e o ponto de inflamação ou fulgor, sendo a viscosidade uma das mais importantes propriedades para a lubrificação (LANSDOWN, 1982).

a) Densidade

A massa específica ou densidade é a relação (razão) entre a massa de uma substância e o volume por si ocupado em determinadas condições de temperatura e pressão. De acordo com Araújo (2022), a densidade é uma propriedade que auxilia na avaliação da presença de contaminantes, bem como do estado de deterioração do óleo lubrificante. Estudos feitos por Hoang e Pham (2018) revelam um aumento de densidade de dois lubrificantes devido à contaminação por limalhas metálicas a partir do desgaste e fricção, à dissolução de depósitos e resíduos do motor no lubrificante, ao aumento na humidade e à oxidação de componentes do lubrificante (ARAÚJO, 2022).

b) Viscosidade

A viscosidade é uma propriedade física que caracteriza a resistência que um fluido oferece ao escoamento. Constitui uma das mais importantes propriedades dos lubrificantes (DE SOUSA, 2016) e é fortemente influenciada pela temperatura; no geral, quanto maior a temperatura, menor a viscosidade.

Os lubrificantes criam um filme de lubrificação, que é tanto mais espesso quanto maior for a viscosidade, e menos espesso para valores de viscosidade menores. Este filme é fundamental para o desempenho do lubrificante durante a interação com os componentes metálicos do motor, podendo também influenciar o consumo de combustível: um lubrificante com menor viscosidade (filme menos espesso) assegura maior economia de combustível (ARAÚJO, 2022). Apesar de altas viscosidades promoverem melhor redução de atrito e desgaste, óleos de alta e baixa viscosidade são úteis: óleos mais viscosos nos motores que operam em condições de carga mais severas, e óleos menos viscosos nos motores mais modernos (FARFAN-CABRERA, 2022).

A viscosidade de um líquido pode ser dinâmica ou cinemática, mas os folhetos de especificações técnicas dos lubrificantes fazem menção da viscosidade cinemática para os testes de lubrificantes. A unidade em que geralmente se expressa é o *centistoke*, cSt, que equivale a $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

Embora a viscosidade possa variar muito com a temperatura, é necessário que esta assuma determinado valor à temperatura de operação, para melhor funcionamento do

equipamento. Para os óleos de motor o intervalo adequado é de 10 a 50 cSt (LANSDOWN, 1982).

c) Índice de viscosidade

O índice de viscosidade (VI) é um número adimensional que quantifica a variação da viscosidade com a temperatura. É geralmente determinado através da equação (GHOSH *et al.*, 2013):

$$VI = \frac{L - U}{L - H} \quad (1)$$

Onde: L é a viscosidade cinemática do óleo de menor VI à 40°C;

H é a viscosidade cinemática do óleo de maior VI à 40°C;

U é a viscosidade cinemática do óleo em estudo à 40°C.

Quanto maior o índice de viscosidade, menor a variação da viscosidade com a temperatura e vice-versa. Lubrificantes à base de óleos vegetais geralmente apresentam índices de viscosidade superiores aos apresentados pelos lubrificantes à base de óleos minerais, isto garante que os biolubrificantes permaneçam efectivos à altas temperaturas (MOBARAK *et al.*, 2013).

De acordo com o índice de viscosidade, os lubrificantes classificam-se em:

- Lubrificantes de baixo índice de viscosidade – se $VI < 30$;
- Lubrificantes de índice de viscosidade intermédio – se $30 < VI < 80$;
- Lubrificantes de alto índice de viscosidade – se $VI > 80$.

Na prática, os lubrificantes de maior qualidade são produzidos através de óleos base de alto índice de viscosidade (LANSDOWN, 1982).

d) Ponto de fluidez

O ponto de fluidez é a menor temperatura a qual um óleo se escoia. Esta temperatura permite avaliar em que condições climáticas é possível usar o lubrificante (DE SOUSA, 2016). Um ponto de fluidez mais reduzido permite melhores condições de utilização durante o inverno – época em que as temperaturas ambientais são mais baixas – isto assegura que o lubrificante seja distribuído e flua para a sucção da bomba no motor (MEIRA, 2021).

e) Ponto de inflamação

Segundo CARVALHO (2022), o ponto de inflamação é a temperatura mínima a qual, na presença de ar, o óleo se inflama produzindo um lamparejo momentâneo. Esta propriedade pode conectar-se directamente à viscosidade do seguinte modo: quanto maior for a viscosidade do óleo, maior será o ponto de inflamação.

O conhecimento do ponto de inflamação é extremamente importante pois permite determinar as condições máximas de temperatura nas quais o lubrificante pode ser usado (CARVALHO, 2022).

De acordo com MOBARAK *et al.* (2013), lubrificantes à base de óleos vegetais possuem altos pontos de inflamação, facto que reduz os riscos associados ao seu uso (MOBARAK *et al.*, 2013).

2.4. Critérios de qualidade dos lubrificantes

Devido à necessidade de padronização, os óleos lubrificantes seguem alguns critérios de classificação. Dentre os critérios destacam-se o SAE e API, por serem os mais usados.

2.4.1. Society of Automotive Engineers (SAE)

A *Society of Automotive Engineers* (SAE) é uma sociedade global cuja sede se encontra nos Estados Unidos da América, que se dedica aos estudos em engenharia automobilística e indústrias montadoras de automóveis. A SAE, actualmente designada SAE

Internacional, estabelece normas técnicas (padrões) que garantem a segurança, qualidade e interoperabilidade e permitem a inovação nos sectores aeroespacial, automobilístico, de veículos comerciais e de gestão de sistemas (SAE INTERNATIONAL, 2024).

Classificação SAE de viscosidade para lubrificantes de motor

Este critério de classificação divide os óleos lubrificantes em dois grupos: óleos monoviscosos e óleos multiviscosos. Os lubrificantes monoviscosos destinam-se ao uso em ambientes mais quentes, por isso são também denominados óleos de grau de verão. Por sua vez, os óleos multiviscosos permitem o uso em temperaturas mais frias, sendo por isso designados óleos de grau de inverno.

A classificação SAE de viscosidades estabelece 11 graus de viscosidade, a saber: SAE 0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W, 20, 30, 40, 50 e 60. Os algarismos usados nesta classificação estão relacionados com a viscosidade do óleo, e a letra W presente na série, vem de *winter*, que significa inverno, ou seja, os lubrificantes com esta designação são também adequados para temperaturas mais baixas (SOUZA, 2016).

Tabela 2: Classificação SAE de viscosidades para óleos de motor

Grau de Viscosidade SAE	Viscosidade à Baixas Temperaturas		Viscosidade a Baixas Temperaturas		
	Viscosidade máxima (cP)		Viscosidade à 100 °C (cSt)		Viscosidade à 150 °C (cSt)
	CCS	MRV	Min	Max	
0W	6200 até - 35 °C	60000 até - 40 °C	-	-	-
5W	6600 até -30 °C	60000 até - 35 °C	-	-	-
10W	7000 até -25 °C	60000 até - 30 °C	-	-	-
15W	7000 até -20 °C	60000 até - 25 °C	-	-	-
20W	9500 até -15 °C	60000 até - 20 °C	-	-	-
25W	13000 até -10 °C	60000 até - 15 °C	-	-	-
20	-	-	5,6	9,3	2,6
30	-	-	9,3	12,5	2,9

40	-	-	12,5	16,3	2,9
50	-	-	16,3	21,9	3,7
60	-	-	21,9	26,1	3,7
<p>CCS = <i>Cold Crack Simulator</i> MRV = <i>Mini-Rotatory Viscometer</i></p>					

Adaptado de Almeida (2012)

2.4.2. American Petroleum Institute (API)

A *American Petroleum Institute* (API) é uma associação que representa todos os segmentos de indústrias americanas de petróleo e gás natural. À semelhança da *SAE International*, a API desenvolve padrões para aprimorar a segurança operacional e ambiental, a eficiência e a sustentabilidade (API, 2024).

Classificação API de lubrificantes

O Critério API permite classificar os óleos lubrificantes de acordo com as características de desempenho e o tipo de serviço a que se destinam. É um critério dinâmico que permite acrescentar novas categorias, podendo assim acompanhar a evolução dos automóveis (FERRO, 2022).

A classificação API associa duas letras:

- **Primeira letra:** está relacionada com o sistema de ignição do motor. Usa-se a letra S, (de *Spark*) para motores com ignição por faísca ou vela (motores a álcool, gasolina ou **GNV**) e C (de *Compression*), para motores com ignição por compressão (motores a diesel).
- **Segunda letra:** está relacionada com a evolução do lubrificante. Quanto maior o avanço desta letra, maior é a concentração de aditivos no lubrificante.

Com o passar do tempo, dá-se a evolução dos automóveis e seus componentes, tornando-se necessário que os lubrificantes também acompanhem a evolução. Abaixo, apresentam-se duas figuras que mostram a evolução da classificação API a partir de determinado ano (figuras 1 e 2).

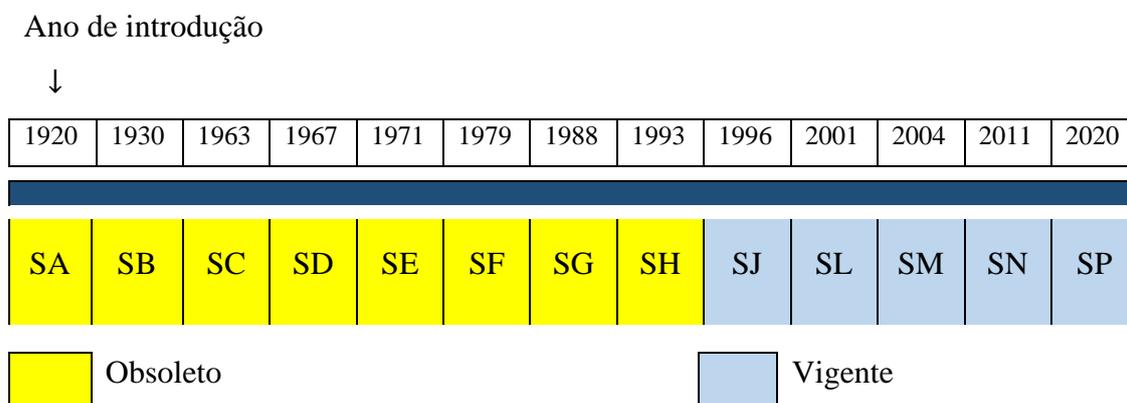


Figura 1: Evolução da Classificação API para lubrificantes de motores a ignição

Adaptado de FERRO (2022)

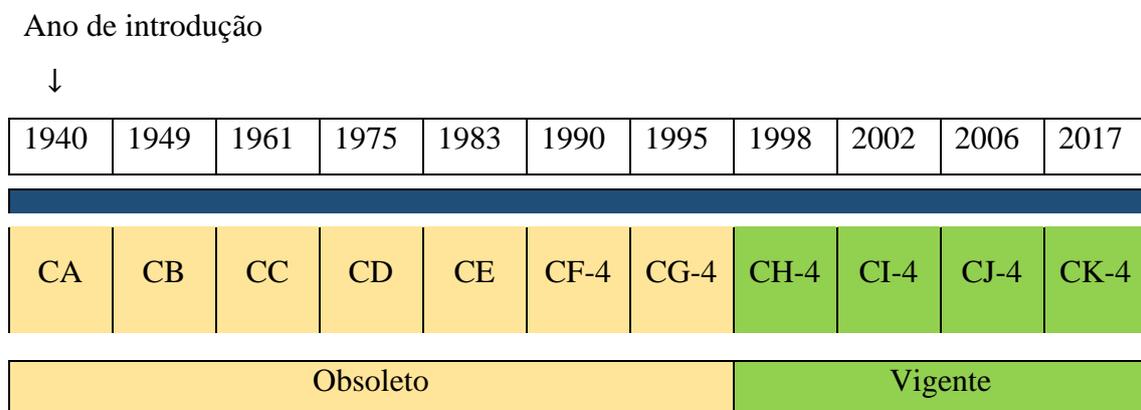


Figura 2: Evolução da Classificação API para lubrificantes de motores a compressão

Adaptado de FLUID ANALYSIS TECHNOLOGY (2020)

2.5. Aditivos

O óleo base por si só não garante um melhor desempenho do lubrificante. É necessário adicionar substâncias com capacidade de corrigir ou aprimorar as propriedades do

lubrificante – aditivos. Os aditivos são substâncias químicas que conseguem melhorar o desempenho, as condições de lubrificação, a vida útil e proteção do motor. Geralmente apresentam na sua composição metais como: Na, Ca, Mg, Ba, Zn e Mo (SOUZA, 2016).

Dentre os vários tipos de aditivos, destacam-se os dispersantes, os detergentes, os antioxidantes, os anticorrosivos, os antidesgaste, os melhoradores de índice de viscosidade e os abaixadores de ponto de fluidez. Embora a abordagem a seguir seja particular, na prática incorporam-se vários aditivos no mesmo lubrificante, o que exige atenção na escolha dos aditivos, a fim de garantir o desempenho conjunto dos aditivos (OLIVEIRA, 2022).

a) Aditivos dispersantes

Os dispersantes são aditivos usados para impedir a formação de depósitos dos produtos provenientes da combustão e da oxidação. Possuem natureza polimérica (polímeros de hidrocarbonetos) e geralmente contêm metais como Na, Ba, Ca e Mg (SOUZA, 2016).

b) Aditivos detergentes

Os aditivos detergentes possuem a função de garantir a limpeza das partes metálicas do motor: reduzem a formação de depósitos de contaminantes, neutralizando ácidos de combustão. Quimicamente, são compostos sulfonados com longas cadeias de hidrocarbonetos, e contêm metais como Ba, Ca e Mg (SOUZA, 2016).

c) Aditivos antioxidantes

Segundo ARAÚJO (2022), os antioxidantes são utilizados para reduzir ou retardar o processo de envelhecimento do óleo, influenciando no tempo de vida do óleo base do lubrificante. De acordo com a estrutura química, os antioxidantes classificam-se em: compostos fenólicos, aminas aromáticas e compostos que contêm enxofre e fósforo. Alguns exemplos destes compostos são 2,6-di-tert-butilfenol, 2,6-di-tert-butil-4-metilfenol, fenóis polinucleares como o 4,4-metilenobis(2,6-di-tert-butilfenol), difenilalanina, dibutilditiocarbamato, fenol impedido e difosfatos de zinco (ARAÚJO, 2022).

d) Aditivos anticorrosivos

Os anticorrosivos são aditivos que protegem as peças metálicas e não metálicas da acção do oxigénio e ácidos formados durante o processo de combustão. Alguns destes operam seguindo um mecanismo de neutralização, através do qual neutralizam os ácidos formados, enquanto outros criam uma barreira que protege a superfície do material dos elementos de ataque (CARVALHO, 2022). Alguns exemplos de anticorrosivos são dietilditiofosfato de zinco, dietilditiocarbamato de zinco, dialquil fosfitos, terpenos sulfurizados e sulfonatos de cálcio e de bário (LANSDOWN, 1982)

e) Aditivos antidesgaste

As peças metálicas dentro do motor permanecem em condição de constante atrito, pelo que se torna necessária a incorporação de agentes antidesgaste no lubrificante. Estes aditivos formam um filme protector e, conseqüentemente, aumentam a vida útil da peça e diminuem o consumo de energia (CARVALHO, 2022). São parte importante da formulação dos lubrificantes, principalmente sob condição de elevada carga. Alguns estudos feitos com o dialquilditiofosfato de zinco e ditiofosfato de molibdénio como agentes antidesgaste em pequenas fracções mássicas mostraram-se bem-sucedidos (ARAÚJO, 2022). Outros exemplos deste tipo de aditivos são estearato de etila, ácido esteárico, tri-p-cresolfosfato ,tri-p-xililfosfato, estearato de metila, dietilditiofosfato de zinco, dilaurilfosfatos (LANSDOWN, 1982).

f) Melhoradores de índice de viscosidade

Estes aditivos melhoram a relação viscosidade-temperatura. Quimicamente, são compostos poliméricos de cadeia linear.

Há vários compostos que se podem usar como melhoradores de índice de viscosidade, dentre eles polisobutenos, polimetacrilatos, copolímeros de olefinas, copolímeros de vinilacetato e poliestirenos alcooilados (CARVALHO, 2022).

g) Abaixadores de ponto de fluidez

Os abaixadores de ponto de fluidez são aditivos que permitem obter melhores propriedades de fluxo a baixas temperaturas. Têm natureza polimérica e seu mecanismo de acção baseia-se na capacidade dos polímeros interagirem com os cristais dos componentes parafínicos resultando na alteração da morfologia destes cristais. Alguns exemplos destes aditivos são os polialquil metilacrilatos, poliacrilatos e copolímeros de acetato (ARAÚJO, 2022).

A tabela abaixo mostra os aditivos geralmente incorporados nos motores à gasolina e a diesel:

Equipamento	Aditivos
Motor à gasolina	Antioxidantes, anticorrosivos, melhoradores de índice de viscosidade, detergentes/dispersantes e antidesgaste.
Motor a diesel	Antioxidantes, anticorrosivos, detergentes/dispersantes, antidesgaste e antiespuma.

Tabela 3: Lista de aditivos de acordo com o tipo de motor

Adaptado de LANSDOWN (1982)

Capítulo 3 – Metodologia

Neste capítulo apresentam-se os procedimentos que foram seguidos para a realização do presente trabalho, desde a parte teórica (pesquisa bibliográfica) até as experiências laboratoriais.

3.1. Pesquisa Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica foi a primeira etapa a ser seguida para a elaboração deste trabalho, porém acompanhou todo o decurso do mesmo. Consistiu em pesquisas em livros, artigos científicos, trabalhos de licenciatura e dissertações de mestrado, para obtenção de informação teórica sobre o tema e os métodos laboratoriais necessários.

3.2. Aquisição das Amostras

Para a realização desta pesquisa usou-se como matéria-prima líquido da casca de castanha de caju (CNSL) oriundo da Indo Caju e da CN Caju, duas fábricas localizadas em Meconta, na província de Nampula. Da empresa Indo Caju, foi possível obter uma amostra de CNSL natural e da empresa CN Caju obteve-se uma amostra de CNSL técnico (processado). O CNSL natural é um líquido roxo-escuro obtido através do método de extracção mecânica a frio. Por sua vez, o CNSL técnico é um líquido castanho-escuro obtido através método de extracção mecânica a quente.



Figura 3: CNSL natural



Figura 4: CNSL técnico

Para o estudo, também se adquiriu três lubrificantes, especificamente óleos de motor, disponíveis nas lojas da ENGEN e da Petromoc. De uma das lojas da ENGEN adquiriu-

se o lubrificante SAE 40 e de uma das lojas da Petromoc os lubrificantes Leão B (SAE 15W-40) e Leopardo (SAE 20W-50).

3.3. Experiências Laboratoriais

Nesta etapa procedeu-se com todos os ensaios relevantes à pesquisa. Os ensaios realizados decorreram no Laboratório do Departamento de Engenharia Química da Universidade Eduardo Mondlane e no Laboratório da Intertek, e através destes foi possível obter dados experimentais necessários para o estudo.

3.3.1. Materiais usados

Para a realização deste estudo foram utilizadas diversos equipamentos, substâncias e materiais. Nas tabelas a seguir encontram-se informações relativas aos mesmos.

Tabela 4: Lista de reagentes

Reagente	Quantidade
CNSL natural	1 l
CNSL técnico	1 l
Acetona	2 l
Hidróxido de potássio	100 g
Fenolftaleína	100 g
<i>Jet</i>	1 l

Tabela 5: Lista de lubrificantes

Lubrificante	Descrição
Petromoc SAE 15W-40 (Leão B)	Óleo multigraduado para motores a diesel e gasolina; Especificações: API CJ-4/SL; ACEA E5/E7
Petromoc SAE 20W-50 (Leopardo)	Óleo sintético multigraduado para motores a diesel e gasolina; Especificações: API CG-4/SM; ACEA A3/B3
Castrol SAE 40	Óleo monogradoado para moteres à gasolina Especificações: API SF

Tabela 6: Lista de principais materiais e equipamentos

Equipamento/Material	Modelo/Referência	Descrição
Hidrômetros	---	Faixas de densidade: desde 0,8 à 1 g/cm ³ .
Capilares	150/642A 200/378	Capilar 150/642A para viscosidade à 40°C; Capilar 200/378 para viscosidade à 100°C.
Viscosímetro de 40°C	---	---
Viscosímetro de 100°C	---	---
Medidor de Ponto de Fluidez	---	----
Medidor de Ponto de Inflamação	---	---
Estufa	Prolab	---
Proveta	---	Volume: 500 ml
Copo de Beaker	---	Volume: 50 ml

3.3.2. Fluxograma dos ensaios realizados

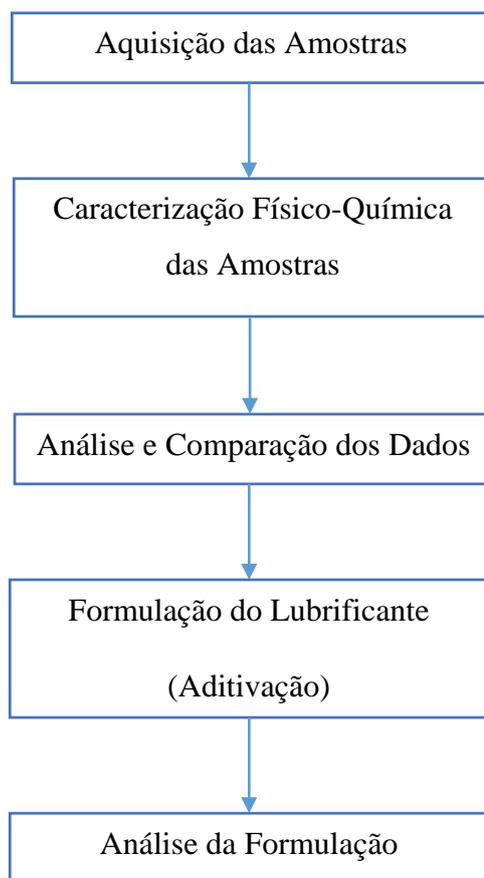


Figura 5: Fluxograma dos ensaios

3.3.3. Procedimentos

Na determinação dos parâmetros de qualidade dos lubrificantes usam-se métodos específicos internacionalmente estabelecidos. Com recurso aos folhetos de especificações dos lubrificantes pode-se ter acesso aos métodos geralmente usados, os quais foram confirmados por algumas referências como MEIRA (2021), OLIVEIRA (2022), entre outras.

Tabela 7: Lista de padrões ASTM usados

Padrão	Descrição
ASTM D1298	Este método é usado para a determinação da densidade de líquidos à 1 atm ou menos pelo uso de um hidrómetro.

	A densidade é medida à temperatura ambiente e é em seguida corrigida para a temperatura de referência com o auxílio de tabelas de conversão.
ASTM D445	Este método é usado para determinação da viscosidade cinemática de líquidos newtonianos transparentes e opacos. Consiste na medição do tempo necessário para certo volume de líquido escoar-se através de um capilar de vidro calibrado sob ação da força de gravidade.
ASTM D2270	<p>Este padrão é aplicado para a determinação do índice de viscosidade de produtos do petróleo a partir das suas viscosidades cinemáticas à 40 e 100°C.</p> <p>Há dois procedimentos:</p> <p>A – Para produtos com VI igual ou inferior a 100;</p> <p>B – para produtos com VI acima de 100.</p> <p>O procedimento A determina o índice de viscosidade a partir das viscosidades do líquido à 40 e 100°C. A equação para esta determinação é:</p> $VI = \frac{L - U}{L - H} \cdot 100 \quad (1)$ <p>Onde: VI é o índice de viscosidade;</p> <p>U é viscosidade cinemática do óleo em estudo à 40°C;</p> <p>L é viscosidade cinemática do óleo de maior índice de viscosidade à 40°C;</p> <p>H é viscosidade cinemática do óleo de menor índice de viscosidade à 40°C.</p> <p>Os valores de L e H são obtidos a partir de tabelas cuja entrada é a viscosidade cinemática à 100 °C.</p> <p>O procedimento B permite determinar o índice de viscosidade através da equação:</p> $VI = \frac{\text{antilog}N - 1}{0,00715} + 100 \quad (2)$ <p>Em que</p>

	$N = \frac{\log H - \log U}{\log Y} \quad (3)$ <p>Onde: Y é a viscosidade cinemática do óleo em estudo à 100°C. As demais variáveis foram descritas anteriormente.</p>
ASTM D93	<p>Este método permite determinar o ponto de inflamação de produtos de petróleo compreendido entre 40 e 360°C.</p> <p>O líquido é introduzido num copo de aço e fecha-se o copo com uma tampa que se adequa ao copo. Aquece-se o líquido a taxas específicas enquanto é agitado e, com uma fonte de ignição testa-se, em intervalos regulares, se o vapor produzido é suficiente para produzir uma chama instantânea.</p>
ASTM D97	<p>Este método permite determinar o ponto de fluidez de produtos do petróleo. O líquido é primeiramente aquecido, e em seguida é arrefecido a determinada taxa verificando-se a capacidade de fluir a cada decréscimo de 3°C. A primeira temperatura em que o líquido não se escoia é registada como ponto de fluidez.</p>

Adaptado de NADKARNI (2007)

a) Determinação da massa específica

A determinação da densidade das amostras fez-se de acordo com o padrão ASTM D 1298. Numa proveta de 500 ml introduziu-se a amostra (uma para cada determinação) até preencher o volume da proveta. Com base no valor esperado da densidade, seleccionou-se o hidrómetro e introduziu-se na proveta e, após atingir o equilíbrio hidrostático, fez-se a leitura da massa específica; caso o hidrómetro não fosse adequado, seleccionava-se outro. Em seguida, removeu-se o hidrómetro e introduziu-se um termómetro para fazer-se a leitura da temperatura ambiente. Com recurso à densidade observada e a temperatura lida, fez-se a conversão da densidade para 15°C através de tabelas de conversão (Anexo 4).



Figura 6: Determinação da densidade do óleo Petromoc SAE 20W-50

b) Determinação da viscosidade

Para os lubrificantes determinam-se as viscosidades à 40 e 100°C. Os procedimentos são os mesmos e obedecem o padrão ASTM D445.

Com o auxílio de uma bomba a vácuo, introduziu-se cada amostra no respectivo capilar, 150/642A para o ensaio à 40°C e 200/378 para o ensaio à 100°C. Em seguida colocou-se o capilar no respectivo banho, previamente aquecido até a temperatura de determinação, e com ajuda do cronómetro mediu-se o tempo necessário para a amostra fluir de um menisco para outro. Cada tempo aqui medido foi multiplicado por uma constante relativa ao capilar para se obter o valor da viscosidade cinemática.



Figura 7: Viscosímetro de 40 °C



Figura 8: Cronómetro



Figura 9: Viscosímetro de 100 °C



Figura 10: Capilar 150/642 C

c) Determinação do índice de viscosidade

Obtidas as viscosidades das diferentes amostras, efectuou-se o cálculo do índice de viscosidade de acordo com o padrão ASTM D2270. O cálculo baseou-se inicialmente na equação (1) descrita no capítulo 3:

$$VI = \frac{L - U}{L - H} \cdot 100$$

Para as amostras que apresentaram índice de viscosidade superior a 100, recorreu-se à equação (2), também descrita no capítulo 3:

$$VI = \frac{\text{antilog}N - 1}{0,00715} + 100$$

Os valores das diferentes constantes obtiveram-se das tabelas do anexo 5.

d) Determinação do ponto de fluidez

Este ensaio fez-se com recurso ao medidor de ponto de fluidez (figura 9), segundo o padrão de teste ASTM D97.

Preparou-se o banho do equipamento, que consistiu em etanol e dióxido de carbono sólido, obtendo-se uma temperatura inicial de -50°C . A seguir introduziu-se cada amostra num copo apropriado, elevou-se ligeiramente a temperatura, deixou-se esfriar naturalmente e colocou-se o copo no equipamento. Para determinar o ponto de fluidez, observou-se a cada decréscimo de 3°C se a amostra fluía ou não; a temperatura a que a amostra não mais fluía foi registada como ponto de fluidez.



Figura 11: Determinação do ponto de fluidez de algumas amostras

e) Determinação do ponto de inflamação

Os folhetos de especificações técnicas de lubrificantes fazem menção do padrão ASTM D92 como método usual de determinação do ponto de inflamação. Entretanto, por indisponibilidade do equipamento, recorreu-se ao padrão ASTM D93. Os dois métodos fornecem resultados diferentes pelas características do método, contudo são ambos úteis para a determinação do ponto de fluidez.

O procedimento para a medição do ponto de fluidez consistiu em: introduzir a amostra num copo apropriado, colocar o copo no equipamento com o termómetro devida e previamente afixado, acender a chama. Para medir o ponto de inflamação verificou-se com auxílio da manivela se, a cada acréscimo de 2°C, o vapor criado pela amostra produzia um lamparejo momentâneo. A temperatura a que se observou o lamparejo foi registada como ponto de inflamação.



Figura 12: Determinação do ponto de inflamação



Figura 13: Copo para medição do ponto de inflamação

Capítulo 4 – Apresentação e Análise de Resultados

Este capítulo destina-se à apresentação dos resultados obtidos seguindo os procedimentos descrito no capítulo 3 e análise dos mesmos. No entanto, quaisquer cálculos encontram-se descritos nos anexos.

4.1. Resultados do ensaio de densidade

Seguindo o procedimento descrito no capítulo 4, de acordo com o padrão ASTM D 1298, determinou-se a densidade de cada amostra à temperatura ambiente, usando o hidrómetro adequado, em seguida fez-se a medição da temperatura ambiente. Com estes dados e o auxílio de tabelas de conversão (Anexo 4) determinou-se a densidade das amostras à 15°C. Contudo, houve um impasse na determinação da densidade do CNSL Técnico, nenhum hidrómetro achou-se apropriado, pelo que se determinou a densidade com recurso a um picnómetro.

Tabela 8: Densidades das amostras à temperatura de 15°C

Amostra	T_{amb} (°C)	ρ_{T_{amb}} (g/cm ³)	ρ_{15°C} (g/cm ³)
CNSL Natural	25	0,955	0,9615
CNSL Técnico	25,5	0,9721	0,9786
Petromoc SAE 15W-40	24	0,880	0,8859
Petromoc SAE 20W-50	22	0,8905	0,8951
Castrol SAE 40	25	0,890	0,8965

Os resultados obtidos mostram proximidade entre os óleos SAE 15W-40, SAE 20W-50 e SAE 40, mas grande diferença em relação ao CNSL.

4.2. Resultados do ensaio de viscosidade

Feita a medição do tempo necessário para que cada amostra fluísse através do capilar adequado sob acção de gravidade, registou-se o tempo e multiplicou-se com a respectiva

constante do capilar, obtendo-se as viscosidades abaixo listadas. O procedimento de cálculo é melhor descrito no anexo 2.

Tabela 9: Resultados da determinação de viscosidade cinemática à 40°C

Amostra	t₁ (s)	t₂ (s)	v₁ (cSt)	v₂ (cSt)	v_m(cSt)
CNSL Natural	2033,08	2736,38	71,58	71,78	71,68
CNSL Técnico	4023,83	5401,99	141,68	141,69	141,69
Petromoc SAE 15W-40	3337,44	4492,30	117,51	117,83	117,67
Petromoc SAE 20W-50	4716,36	6346,51	166,06	166,47	166,27
Castrol SAE 40	4059,33	5449,87	142,93	142,95	142,94

Tabela 10: Resultados da determinação de viscosidade cinemática à 100°C

Amostra	t₁ (s)	t₂ (s)	v₁ (cSt)	v₂ (cSt)	v_m(cSt)
CNSL Natural	98,07	119,90	8,66	8,64	8,65
CNSL Técnico	146,03	178,43	12,90	12,86	12,88
Petromoc SAE 15W-40	172,12	210,80	15,20	15,20	15,20
Petromoc SAE 20W-50	211,23	258,92	18,66	18,66	18,66
Castrol SAE 40	162,76	199,69	14,38	14,39	14,40

Os resultados das tabelas acima são melhor ilustradas nos seguintes gráficos:

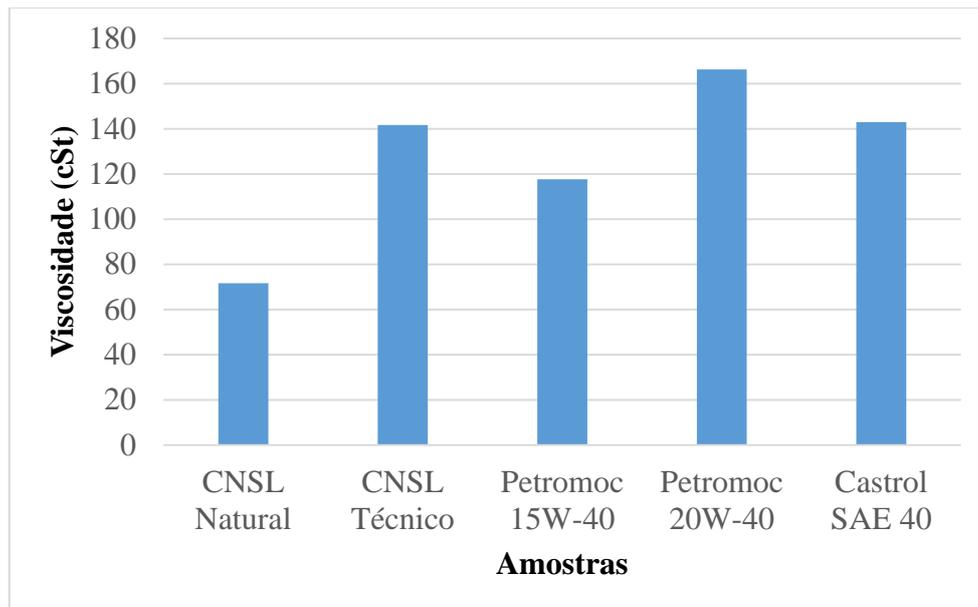


Figura 14: Gráfico da viscosidade cinemática à 40°C

O gráfico acima (Figura 14) permite comparar as viscosidades cinemáticas das amostras à 40°C. Os lubrificantes analisados possuem viscosidades superiores a 100 cSt, registrando-se menor viscosidade no óleo 15W-40 (117,7 cSt) e maior viscosidade no óleo SAE 40 (142,9 cSt). Das amostras de CNSL, o CNSL técnico possui viscosidade compreendida entre o mínimo e o máximo observados, com valor de 140,7 cSt, concluindo-se assim que não necessita de aditivos para corrigir a viscosidade. No entanto, o CNSL natural apresenta viscosidade de 71,7 cSt, encontrando-se fora dos limites observados, concluindo-se deste modo que necessita de aditivação. Contudo, os motores vêm a ser refinados, o que muda as exigências em termos de viscosidade, requerendo-se viscosidades inferiores; deste modo, com um estudo adequado e aditivação apropriada, é provável que se obtenha uma formulação que use CNSL natural. Ademais, de acordo com um folheto de especificações técnicas de lubrificantes da Petromoc, existem óleos lubrificantes com viscosidades iguais ou inferiores à 70 cSt (ANEXO 6), pelo que se conclui que seja possível obter uma formulação de lubrificante automotivo para motorizadas e sistemas de transmissão que use CNSL natural como óleo base.

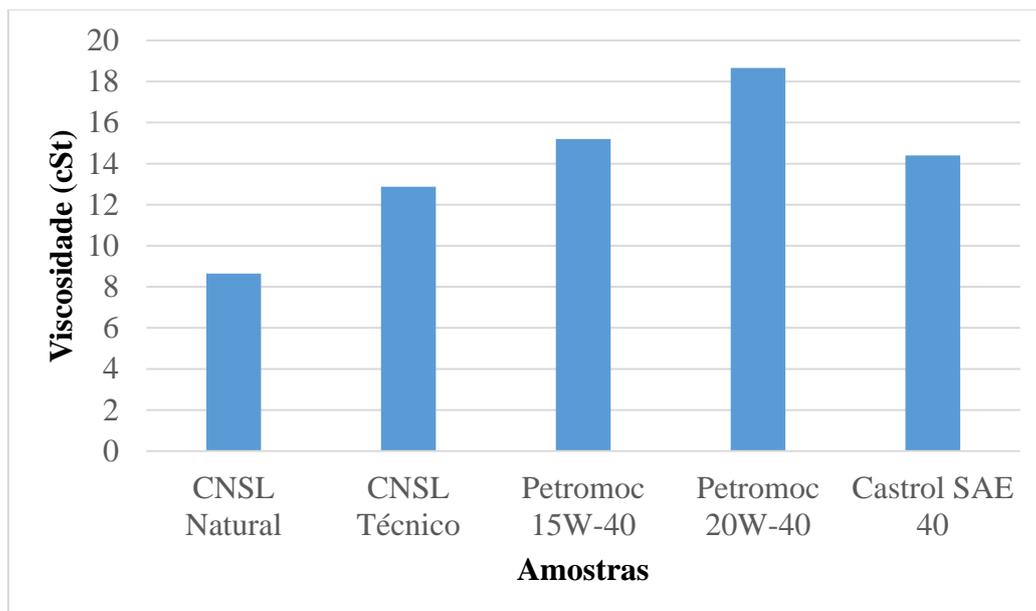


Figura 15: Gráfico da viscosidade cinemática à 100°C

Com auxílio da figura 15, comparam-se as viscosidades cinemáticas à 100°C, verificando-se que ambas amostras de CNSL possuem viscosidades inferiores às dos lubrificantes analisados. Todavia, o CNSL técnico ($\nu = 12,9$ cSt) apresentou viscosidade razoavelmente próxima da do óleo SAE 40 ($\nu = 14,4$ cSt), facto que leva a concluir que não seja necessário aditivar. Entretanto, é provável que essa diferença seja superada com a incorporação de outros aditivos.

A viscosidade do CNSL natural (8,7 cSt) é muito inferior às viscosidades dos lubrificantes estudados, portanto é necessário incorporar aditivos que a corrijam. Contudo, como mencionado anteriormente, existem algumas formulações de óleos de motor para motorizadas e óleos para sistemas de transmissão que possuem viscosidades inferiores. No anexo 6, apresenta-se um óleo para sistemas de transmissão e um óleo para motorizadas com viscosidades de 7,2 cSt e 9,5 cSt à 100°C, respectivamente, que estão ligeiramente próximas da viscosidade do CNSL natural à mesma temperatura, facto que reforça a possibilidade de formular-se de um desses tipos de lubrificantes à base de CNSL natural.

4.3. Resultados da determinação do índice de viscosidade

Seguindo os procedimentos de cálculo descritos anteriormente, obtiveram-se os valores de índice de viscosidade a seguir apresentados, cujos cálculos são devidamente descritos no anexo 3.

Tabela 11: Índices de viscosidade das amostras

Amostra	Índice de viscosidade
CNSL Natural	90,17
CNSL Técnico	79,37
Petromoc SAE 15W-40	138,06
Petromoc SAE 20W-50	126,12
Castrol SAE 40	98,57

Para melhor visualização e comparação construiu-se o gráfico abaixo:

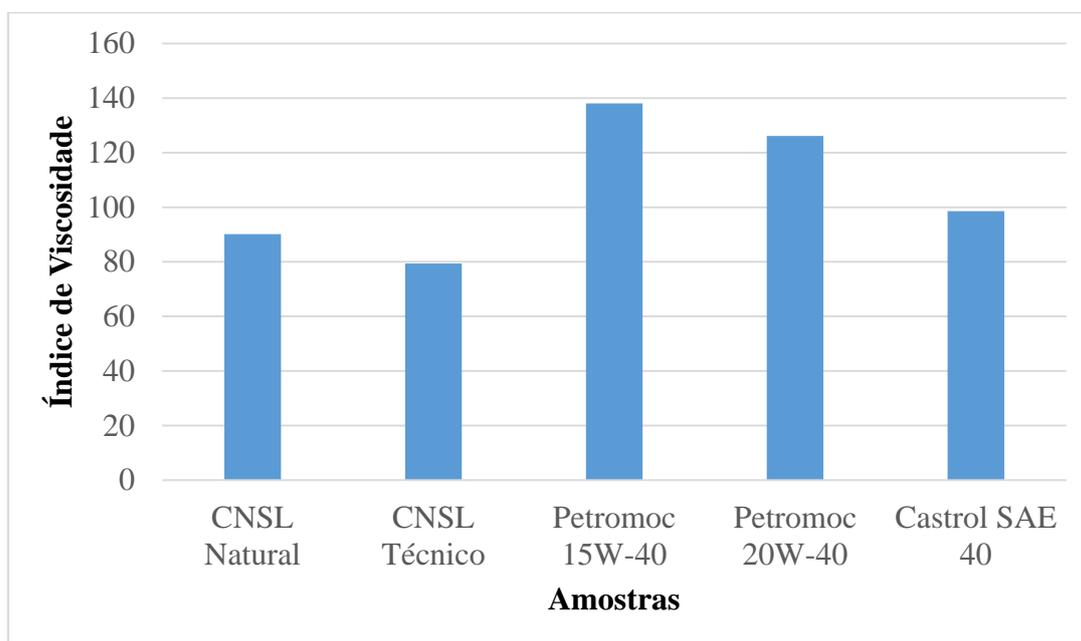


Figura 16: Gráfico do índice de viscosidade das amostras

Na tabela 11 e no gráfico da figura 16 é possível verificar que quase todas amostras apresentam índices de viscosidade superiores a aproximadamente 80, ou seja, trata-se de óleos de alto índice de viscosidade. Embora as amostras de CNSL apresentem VI's

inferiores aos dos lubrificantes, o CNSL Natural classifica-se como óleo de alto VI, portanto, não precisa ser aprimorado, a não ser que se deseje obter um VI ainda maior. Entretanto, o CNSL Técnico apresenta VI muito próximo de 80 (79,37), mas ligeiramente inferior, sendo por isso classificado como óleo de índice de viscosidade intermédio. Deste modo, não é taxativamente necessário aprimorar-se o VI do CNSL Técnico, contudo, espera-se que com a incorporação de outros aditivos, não necessariamente melhoradores de VI, o VI do CNSL Técnico seja aprimorado, obtendo-se um óleo de alto índice de viscosidade.

4.4. Resultados do ensaio de ponto de fluidez

Feitos os ensaios para a determinação do ponto de fluidez de cada amostra, foi possível obter os dados abaixo listados e o gráfico ilustrado logo a seguir à tabela.

Amostra	Ponto de fluidez (°C)
CNSL Natural	- 21
CNSL Técnico	- 30
Petromoc SAE 15W-40	- 30
Petromoc SAE 20W-50	- 33
Castrol SAE 40	- 21

Tabela 12: Pontos de fluidez das amostras

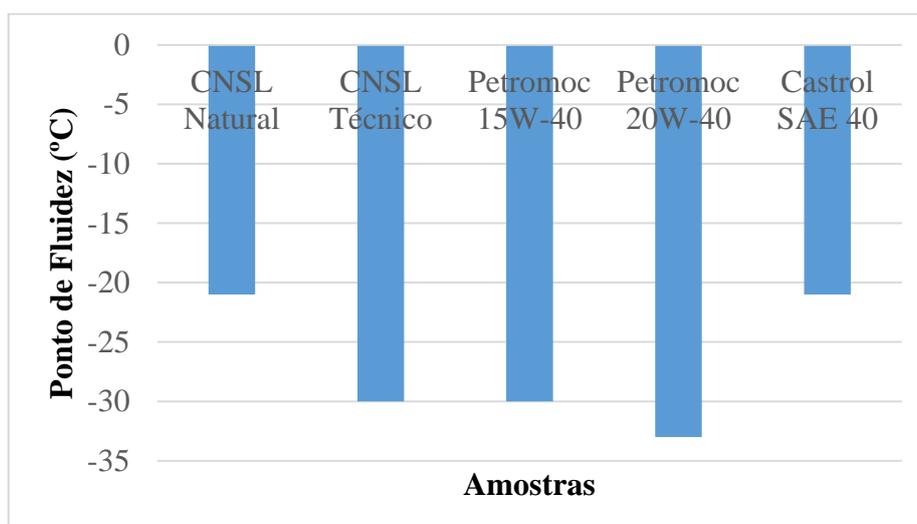


Figura 17: Gráfico do ponto de fluidez das amostras

Os resultados do ponto de fluidez descritos na tabela e no gráfico acima mostram-se satisfatórios para ambas amostras de CNSL. As amostras apresentam pontos de fluidez baixos, os quais encontram-se próximos dos pontos de fluidez dos lubrificantes analisados, chegando a coincidir com os de algumas amostras – CNSL Natural e Castrol SAE 40; CNSL Técnico e Petromoc SAE 15W-40. Esta proximidade mostra que sob ponto de vista de ponto de fluidez, as amostras de CNSL são adequadas para produzir um lubrificante e não necessitam de aditivos abaixadores de ponto de fluidez, salvo que se deseje um ponto de fluidez ainda menor.

4.5. Resultados do ensaio de ponto de inflamação

Seguindo o procedimento para a determinação do ponto de inflamação de cada amostra, foi possível obter valores mostrados na seguinte tabela:

Tabela 13: Pontos de inflamação das amostras (ASTM D93)

Amostra	Ponto de inflamação (°C)
CNSL Natural	-
CNSL Técnico	-
Petromoc SAE 15W-40	200
Petromoc SAE 20W-50	190
Castrol SAE 40	210

Devido a um incidente ocorrido durante o ensaio de ponto de inflamação do CNSL natural (o copo transbordou devido agitação) não se pôde prosseguir com a determinação do ponto de inflamação de ambas amostras de CNSL, pelo que nada se pode afirmar sobre o valor desta propriedade para o CNSL. Todavia, Bhaumik (2019), uma das referências consultadas, obteve para o CNSL um ponto de inflamação de 230°C pelo padrão ASTM D92. Deste modo, esperava-se que as amostras de CNSL tivessem pontos de inflamação da mesma ordem de grandeza, ainda que inferiores por se usar o padrão ASTM D93. Se assim acontecesse, não haveria necessidade de melhorar-se esta propriedade. Outros autores que obtiveram resultados satisfatórios para o ponto de inflamação do CNSL são Sekunowo e Uduh (2022), que obtiveram um valor de 286°C.

4.6. Aditivação

No capítulo 3 circundaram-se alguns aspectos importantes da aditivação. Como visto, o óleo base não é suficiente para alcançar o desempenho adequado do lubrificante, por isso incorporam-se aditivos que aprimoram as propriedades e o desempenho do óleo.

Após a análise dos resultados da caracterização físico-química, observou-se a necessidade de melhorar-se algumas das propriedades do CNSL. A tabela a seguir apresenta de forma breve as observações feitas.

Tabela 14: Avaliação das propriedades a melhorar

Amostra	Propriedade	Observação
CNSL Natural	Densidade	Não precisa ser aprimorada
	Viscosidade	Precisa ser aprimorada
	Índice de Viscosidade	Não precisa ser aprimorado
	Ponto de fluidez	Não precisa ser aprimorado
	Ponto de inflamação	Nada se pode dizer
CNSL Técnico	Densidade	Não precisa ser aprimorada
	Viscosidade	Não precisa ser aprimorado
	Índice de Viscosidade	Não precisa necessariamente ser aprimorada, mas será aprimorado para obter um lubrificante de alto VI
	Ponto de fluidez	Não precisa ser aprimorado
	Ponto de inflamação	Nada se pode dizer

Dentre as amostras de CNSL, o CNSL natural possui uma viscosidade cinemática à 40°C demasiadamente inferior à dos lubrificantes analisados, por isso neste trabalho não se propõe uma formulação que o contenha. Todavia, o CNSL técnico possui viscosidade comparável com a dos lubrificantes analisados, por isso prossegue-se com a proposta de uma formulação que o contenha.

Das propriedades do CNSL técnico, a que necessita de aprimoramento é o índice de viscosidade, e por isso propõe-se a incorporação de melhoradores de VI. No entanto, não

se produz um lubrificante simplesmente pelo aprimoramento das propriedades anteriormente descritas, é necessário adicionar substâncias redutoras de desgaste e espuma. Deste modo, propõe-se uma formulação à base de CNSL técnico que tenha como aditivos um melhorador de índice de viscosidade, um agente redutor de desgaste e um agente redutor de espuma.

Identificados os tipos de lubrificantes, é necessário proceder com uma formulação mais detalhada com base nos aditivos disponíveis no mercado. Essa formulação detalhada consiste na selecção de um melhorador de VI, um agente antidesgaste e um agente antiespuma específicos (fórmulas químicas específicas) compatíveis com o óleo base e na definição da composição de cada aditivo. Este processo acarreta custos para importação de aditivos, podendo até ser moroso; pela indisponibilidade de recursos, termina-se esta pesquisa com a formulação menos detalhada, na expectativa de prosseguir-se com o estudo em futuras pesquisas.

Tabela 15: Proposta de formulação do lubrificante automotivo

Óleo base	Aditivos
CNSL Técnico	Melhorador de índice de viscosidade
	Agente antidesgaste
	Agente antiespuma

Capítulo 5 – Conclusões e Recomendações

5.1. Conclusões

Terminada a pesquisa, importa tecer alguns comentários e considerações finais referentes ao estudo. A análise das principais propriedades dos lubrificantes automotivos (densidade, viscosidade, índice de viscosidade, ponto de fluidez e ponto de inflamação) permitiu concluir que o CNSL natural apresenta boas propriedades de lubrificação, podendo até ser usado em ambientes com temperaturas mais baixas devido ao seu baixo ponto de fluidez. No entanto, embora se tenha observado que o CNSL natural apresenta índice de viscosidade alto, por possuir baixa viscosidade cinemática à 40°C, seu uso como base para a produção de um lubrificante automotivo do tipo óleo de motor para automóvel não é adequado, salvo se se fizer um estudo mais exaustivo na tentativa de aprimorar a sua viscosidade. Em adição, pelas propriedades verificadas, conclui-se que seja possível obter formulações de óleo motor para motorizadas e óleo de sistemas de transmissão de automóveis a partir de CNSL natural.

O CNSL técnico apresenta propriedades de lubrificação adequadas para a formulação de um lubrificante automotivo do tipo óleo de motor de automóvel e conta com a vantagem de apresentar viscosidade cinemática e ponto de fluidez que se assemelham aos dos lubrificantes estudados. Todavia, visto que o CNSL técnico possui índice de viscosidade intermédio, é necessário incorporar aditivos que corrijam o índice de viscosidade de modo a torná-lo um óleo de alto índice de viscosidade, possibilitando a produção de um lubrificante com maior qualidade.

Analisadas as principais propriedades e avaliados os aditivos necessários, propõe-se uma formulação de lubrificante automotivo que consista em CNSL técnico como óleo base e melhoradores de índice de viscosidade, agentes antidesgaste e agentes antiespuma como aditivos.

5.2. Recomendações

Face as limitações e os inconvenientes enfrentados durante a pesquisa, apresentam-se a seguir algumas recomendações de futuros trabalhos:

- Estudar a possibilidade de formulação de um lubrificante automotivo do tipo óleo de motor para motorizadas à base de CNSL natural;
- Estudar a possibilidade de formulação de um lubrificante automotivo do tipo óleo de sistemas de transmissão à base de CNSL natural;
- Avaliar a influência de diversos melhoradores de índice de viscosidade em diferentes fracções no índice de viscosidade do CNSL técnico e nas demais propriedades de modo a seleccionar o que melhor se adequa;
- Avaliar a influência de diversos agentes antidesgaste e antiespuma em diferentes proporções nas propriedades de lubrificação do CNSL técnico a fim de seleccionar os mais apropriados;
- Fazer ensaios de ponto de inflamação e estabilidade térmica com vista a melhor aferir sobre a segurança do uso de CNSL como óleo base e a influência da temperatura no mesmo;
- Realizar outros ensaios tribológicos para melhor inferir sobre o uso de CNSL como óleo base na formulação de lubrificantes.

Capítulo 6 – Referências Bibliográficas

1. ALMEIDA, A. P. P. 2012. **Caracterização de aditivos poliméricos melhoradores de índice de viscosidade e estudo reológico de lubrificantes automotivos**. Universidade de Minas Gerais. Belo Horizonte.
2. ANDERSON, KJ. 1991. **A History of Lubricants**. MRS Bulletin. 16(10):69-69. doi:10.1557/S0883769400055895
3. API. **About API**. Disponível em: <<https://www.api.org/about>>. Acesso em: 6 de Setembro de 2024.
4. ARAÚJO, G. S. 2022. **Avaliação técnica de lubrificantes comerciais SAE 10W-30 para motocicletas**. Rio de Janeiro. UFRJ.
5. BANCO DE MOÇAMBIQUE. 2021. **Desafios e oportunidades na comercialização e processamento da castanha de caju: o caso de Nampula**. Nampula.
6. BART, J. C. J. *et al.* 2013. **Biolubricants: science and technology**. Woodhead Publishing.
7. BHAUMIK, S. *et al.* 2019. **Tribological investigation of r-GO additived biodegradable cashew nut shells liquid as an alternative industry lubricant**. Tribology International, vol 135, p 500-509. ELSEVIER, <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.03.007>.
8. CARVALHO, C. P. 2022. **Espectrometria de massas como ferramenta de verificação de qualidade em óleos lubrificantes automotivos**. Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo.
9. DE SOUSA, L. F. 2016. **A química dos óleos lubrificantes para motores automotivos**. Universidade do Sagrado Coração. Bauru. p. 27-30.
10. DIÁRIO ECONÓMICO. 2023. **Moçambique é o quarto maior produtor de caju em África;** em <<https://www.diarioeconomico.co.mz/2023/04/24/negocios/agronegocios/mocambique-e-o-quarto-maior-produtor-de-castanha-de-caju-em-africa/>>, acesso em 15 de Abril de 2024
11. FARFAN-CABRERA, L. I. *et al.* 2022. **Microalgae Biomass as a New Potential Source of Sustainable Green Lubricants**. *Molecules*, vol 27.
12. FERRO, A. A. S. 2022. **Avaliação pelos usuários de veículos quanto ao conhecimento relacionado a óleos lubrificantes automotivos**. Pontifícia Universidade Católica De Goiás.

13. FLUID ANALYSIS TECHNOLOGY. **Classificação de óleos para motor.**
Disponível em: <
https://www.fluidanalysistech.com.br/trocando_ideias/ClassificacaoAPI.php>
Acesso em: 15 de Outubro 2024.
14. GHOSH, M. K. *et al.* 2013. **Theory of lubrication.** Tata McGraw Hill. New Delhi.
15. GROWNEY, D. *et al.* 2021. **Acid Neutralization Rates—Why Total Base Number Doesn't Tell the Whole Story: Understanding How the Colloidal Structure of Overbased Detergents Influences Acid Neutralization Rates.** SAE International Journal of Fuels and Lubricants, vol. 14, no. 1, p. 27–40. JSTOR, <https://www.jstor.org/stable/27034661>. Accessed 19 Sept. 2024.
16. HOANG, A. T.; PHAM, V. V. 2018. **A study of emission characteristic, deposits and lubrication oil degradation of diesel engine running on preheated vegetable oil and diesel oil.** Energy Sources, Part A: recovery, utilization and environmental effects. Vol 41 (5). p. 611–625.
17. CAINES, A. J. *et al.* 2004. **Automotive lubricants reference book.** 2nd ed. John Wiley & Sons. London.
18. IKE *et al.* 2021. **Cashew nut shell liquid and its derivates in oil field applications: an update.** Green Chemistry Letters and Reviews. vol 14. p. 1-2.
19. KHONSARI, M. M.; BOOSER, E. R. 2017. **Applied tribology: bearing design and lubrication.** 3rd ed. John Wiley & Sons.
20. LANSDOWN, A. R. **Lubricants: a practical guide to lubricant selection.** 1982.
21. MANG, T.; DRESEL, W. 2007. **Lubricants and lubrication.** 2nd ed. Wiley - VCH. Weinheim.
22. MEIRA, A. S. N. S. 2021. **Os lubrificantes biodegradáveis e não biodegradáveis: o estado atual de desenvolvimento e estudo comparativo entre os dois tipos de lubrificantes.** Instituto Superior Universidade do Porto. Porto.
23. MOBARAK, H. M. *et al.* 2014. The prospects of biolubricants as alternatives in automotive applications, Renew. Sustain. Energy Rev. 33: p. 34–43.
24. NADKARNI, R. A. K. 2007. **Guide to ASTM test methods for the analysis of petroleum products and lubricants.** 2nd ed.

25. OLIVEIRA, T. F. 2022. **Aditivaco de nanoprculas a óleos lubrificantes em motores de combustão interna**. Universidade Federal De Alagoas-UFAL. Rio Largo.
26. PIRRO, D. M.; WESSOL, A. A. 2001. **Lubrication fundamentals**, 2nd ed., Marcel Dekker Inc., New York.
27. RIZVI, SYED Q. A. 1996. **History of Automotive Lubrication**. SAE Transactions, vol. 105, p. 1420–1434. JSTOR, <http://www.jstor.org/stable/44729150>. Accessed 3 Sept. 2024.
28. SAE INTERNATIONAL. **About SAE International**. Disponível em: <<https://www.sae.org/about/>> Acesso em: 6 de Setembro de 2024.
29. SAE INTERNATIONAL. **Standards Works**. Disponível em: <<https://standardsworks.sae.org/standards-committees>> Acesso em: 6 de Setembro 2024.
30. SALIH, N.; SALIMON, J. 2021. **A review on eco-friendly green biolubricants from renewable and sustainable plant oil sources**. Biointerface Research in Applied Chemistry, vol. 11. p. 13303 – 13327.
31. SEKUNOWO, O. I.; UDUH, G. U. 2022. **Extraction and physicochemical characterization of cashew nut shell liquid in metal forming**. Nigerian Journal of Technological Development, vol. 19, No 2. Lagos.
32. SILVA, E. F. M. S. 2023. **Desenvolvimento de lubrificantes verdes: adio de nanoprculas a óleos vegetais e estudo dos desempenhos**. Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”. Ilha Solteira.
33. SRIVASTAVA, A. SAHAI, P. 2013. **Vegetable oils as lube basestocks: A review**. African Journal of Biotechnology, vol. 12(9), p. 880-891.
34. SRIVYAS, P. D.; CHAROO, M. S. 2018. **A Review on Tribological Characterization of Lubricants with Nano Additives for Automotive Applications**. Tribology In Industry, vol 14. p. 594 – 623.

ANEXOS

ANEXO 1 – Conversão de densidade

As densidades das amostras foram lidas em hidrómetros, excepto a do CNSL técnico que se obteve através da leitura da massa de amostra contida num picnómetro. A densidade (ρ) do CNSL Técnico foi determinada através da razão entre a massa (m) de CNSL medida na balança analítica e o volume (V) de amostra contido no picnómetro:

m (g)	V (cm³)	ρ (g/cm³)
97,2127	100	9,9721

Conhecida a temperatura em que se fez a medição (temperatura ambiente) e o respectivo valor da densidade, procedeu-se com a determinação da densidade à 20°C com auxílio de tabelas de conversão e conseguinte conversão para 15 °C. A tabela abaixo mostra o procedimento de cálculo para determinar a densidade à 20°C:

T_{amb} (°C)	$\rho_{T_{amb}}$ (g/cm³)	ρ_{tab} à T_{amb}	Valor a adicionar	$\rho_{20^{\circ}C}$ (g/cm³)
25	0,955	0,9532	$0,9532 - 0,950 = 0,0032$	$0,955 + 0,0032 = 0,9582$
25,5	0,9721	0,9732	$0,9732 - 0,970 = 0,0032$	$0,9721 + 0,0032 = 0,9753$
24	0,880	0,8826	$0,8826 - 0,880 = 0,0026$	$0,880 + 0,0026 = 0,8826$
22	0,8905	0,8913	$0,8913 - 0,890 = 0,0013$	$0,8905 + 0,0013 = 0,8918$
25	0,890	0,8932	$0,8932 - 0,890 = 0,0032$	$0,890 + 0,0032 = 0,8932$

O cálculo da densidade à 15°C a partir da densidade à 20°C é apresentado a seguir. Importa mencionar que o cálculo se baseou na interpolação linear dos dados das tabelas do anexo 5.

$\rho_{20^{\circ}C}$ (g/cm³)	ρ_{tab} à 20°C (g/cm³)		ρ_{tab} à 15°C (g/cm³)		$\rho_{15^{\circ}C}$ (g/cm³)
	anterior	posterior	anterior	posterior	
0,9582	0,9577	0,9587	0,961	0,962	0,9615
0,9753	0,9747	0,9757	0,978	0,979	0,9786
0,8826	0,9917	0,8827	0,885	0,886	0,8859
0,8918	0,8917	0,8927	0,895	0,896	0,8951

0,8932	0,8927	0,8937	0,896	0,897	0,8965
--------	--------	--------	-------	-------	--------

Com os cálculos acima obtiveram-se os resultados descritos na tabela abaixo:

Amostra	T_{amb} (°C)	ρ_{T_{amb}} (g/cm³)	ρ_{20°C} (g/cm³)	ρ_{15°C} (g/cm³)
CNSL natural	25	0,9550	0,9582	0,9615
CNSL técnico	25,5	0,9721	0,9753	0,9786
Petromoc 15W-40	24	0,8800	0,8826	0,8859
Petromoc 20W-50	22	0,8905	0,8918	0,8951
Castrol SAE 40	25	0,8900	0,8932	0,8965

ANEXO 2 – Cálculo da viscosidade cinemática à 40 e 100°C

O cálculo da viscosidade cinemática consistiu na multiplicação do tempo medido por uma constante associada ao capilar usado.

Viscosidade à 40°C (Capilar 150/642A)					
Amostra	t ₁ (s)	t ₂ (s)	v ₁ (cSt)	v ₂ (cSt)	v _m (cSt)
CNSL natural	2033,08	2736,38	71,58	71,78	71,68
CNSL processado	4023,83	5401,99	141,68	141,69	141,69
Petromoc 15W-40	3337,44	4492,30	117,51	117,83	117,67
Petromoc 20W-50	4716,36	6346,51	166,06	166,47	166,27
Castrol SAE 40	4059,33	5449,87	142,93	142,95	142,94
Obs.	O cálculo da viscosidade é feito através das expressões $v_i = k_i \cdot t_i$, onde $k_1 = 0,03521$ e $k_2 = 0,02623$				

Viscosidade à 100°C (Capilar 200/378)					
Amostra	t ₁ (s)	t ₂ (s)	v ₁ (cSt)	v ₂ (cSt)	v _{media} (cSt)
CNSL natural	98,07	119,90	8,66	8,64	8,65
CNSL Técnico	146,03	178,43	12,90	12,86	12,88
Petromoc 15W-40	168,58	192,61	14,89	13,88	14,4
	172,12	210,80	15,20	15,20	15,20
Petromoc 20W-50	209,69	257,28	18,52	18,54	18,53
	211,23	258,92	18,66	18,66	18,66
Castrol SAE 40	162,76	199,69	14,38	14,39	14,40
Obs.	O cálculo da viscosidade é feito através das expressões $v_i = k_i \cdot t_i$, onde $k_1 = 0,08833$ e $k_2 = 0,07208$				

ANEXO 3 – Cálculo do índice de viscosidade

As tabelas do anexo 5 foram usadas para extrair os valores de L e H necessários para o cálculo do índice de viscosidade, a entrada das mesmas é a viscosidade cinemática à 100°C ($\nu_{100^\circ\text{C}}$ ou Y). Pela equação (1) determinou-se o VI dos óleos, porém nos casos em que $\text{VI} > 100$, refizeram-se os cálculos através da equação (2) por esta ser a apropriada, para tal foi necessário determinar o valor de N pela equação (3) que igualmente necessita dos valores de L e H.

Equação	Expressão
(1)	$\text{VI} = \frac{L - U}{L - H} \cdot 100$
(2)	$\text{VI} = \frac{\text{antilog}N - 1}{0,00715} + 100$
(3)	$N = \frac{\log H - \log U}{\log Y}$

Os diversos resultados apresentam-se na tabela a seguir:

Amostra	$\nu_{100^\circ\text{C}}$ = Y	L	H	U	N	Índice de viscosidade
CNSL natural	8,65	115,05	67,06	71,78	-	90,17
CNSL processado	12,86	228,18	119,82	142,18	-	79,37
Petromoc 15W-40	15,20	303,4	156,6	117,83	0,105	138,06
Petromoc 20W-50	18,53	430,26	204,78	166,47	0,071	124,82
Castrol SAE 40	14,40	276,3	141,0	142,94	-	98,57

ANEXO 4 – Tabelas de conversão de densidade para 20°C

Table A										
Reduction of Density to 20°C										
0,800 to 0,890 0 to 25°C										
OBS TEMP °C	OBSERVED HYDROMETER READING									
	0,800	0,810	0,820	0,830	0,840	0,850	0,860	0,870	0,880	0,890
	CORRESPONDING DENSITY [KG PER LITRE] 20°C									
0,0	0,7855	0,7958	0,8060	0,8164	0,8265	0,8366	0,8467	0,8568	0,8669	0,8770
0,5	0,7859	0,7962	0,8064	0,8166	0,8268	0,8369	0,8471	0,8572	0,8673	0,8774
1,0	0,7863	0,7965	0,8068	0,8170	0,8271	0,8373	0,8474	0,8575	0,8676	0,8777
1,5	0,7866	0,7969	0,8071	0,8173	0,8275	0,8376	0,8477	0,8578	0,8679	0,8780
2,0	0,7870	0,7972	0,8075	0,8177	0,8278	0,8380	0,8481	0,8582	0,8683	0,8783
2,5	0,7874	0,7976	0,8078	0,8180	0,8282	0,8383	0,8484	0,8585	0,8686	0,8787
3,0	0,7877	0,7980	0,8082	0,8184	0,8285	0,8386	0,8488	0,8588	0,8689	0,8790
3,5	0,7881	0,7983	0,8085	0,8187	0,8289	0,8390	0,8491	0,8592	0,8693	0,8793
4,0	0,7885	0,7987	0,8089	0,8190	0,8292	0,8393	0,8494	0,8595	0,8696	0,8796
4,5	0,7889	0,7991	0,8092	0,8194	0,8295	0,8397	0,8498	0,8598	0,8699	0,8800
5,0	0,7892	0,7994	0,8096	0,8197	0,8299	0,8400	0,8501	0,8602	0,8702	0,8803
5,5	0,7896	0,7998	0,8099	0,8201	0,8302	0,8403	0,8504	0,8605	0,8705	0,8806
6,0	0,7899	0,8001	0,8103	0,8204	0,8306	0,8407	0,8508	0,8608	0,8709	0,8809
6,5	0,7903	0,8005	0,8106	0,8208	0,8309	0,8410	0,8511	0,8612	0,8712	0,8813
7,0	0,7907	0,8008	0,8110	0,8211	0,8312	0,8413	0,8514	0,8615	0,8716	0,8816
7,5	0,7910	0,8012	0,8113	0,8215	0,8316	0,8417	0,8518	0,8618	0,8719	0,8819
8,0	0,7914	0,8016	0,8117	0,8218	0,8319	0,8420	0,8521	0,8622	0,8722	0,8822
8,5	0,7918	0,8019	0,8120	0,8222	0,8323	0,8423	0,8524	0,8625	0,8725	0,8826
9,0	0,7921	0,8023	0,8124	0,8225	0,8326	0,8427	0,8528	0,8628	0,8729	0,8829
9,5	0,7925	0,8026	0,8127	0,8229	0,8329	0,8430	0,8531	0,8631	0,8732	0,8832
10,0	0,7929	0,8030	0,8131	0,8232	0,8333	0,8434	0,8534	0,8635	0,8735	0,8835
10,5	0,7932	0,8033	0,8134	0,8235	0,8336	0,8437	0,8537	0,8638	0,8738	0,8839
11,0	0,7936	0,8037	0,8138	0,8239	0,8340	0,8440	0,8541	0,8641	0,8742	0,8842
11,5	0,7939	0,8041	0,8141	0,8242	0,8343	0,8444	0,8544	0,8645	0,8745	0,8845
12,0	0,7943	0,8044	0,8145	0,8246	0,8346	0,8447	0,8547	0,8648	0,8748	0,8848
12,5	0,7947	0,8048	0,8148	0,8249	0,8350	0,8450	0,8551	0,8651	0,8751	0,8852
13,0	0,7950	0,8051	0,8152	0,8253	0,8353	0,8454	0,8554	0,8654	0,8755	0,8855
13,5	0,7954	0,8055	0,8155	0,8256	0,8356	0,8457	0,8557	0,8658	0,8758	0,8858
14,0	0,7957	0,8058	0,8159	0,8259	0,8360	0,8460	0,8561	0,8661	0,8761	0,8861
14,5	0,7961	0,8062	0,8162	0,8263	0,8363	0,8464	0,8564	0,8664	0,8764	0,8865
15,0	0,7965	0,8065	0,8166	0,8266	0,8367	0,8467	0,8567	0,8667	0,8768	0,8868
15,5	0,7968	0,8069	0,8169	0,8270	0,8370	0,8470	0,8570	0,8671	0,8771	0,8871
16,0	0,7972	0,8072	0,8173	0,8273	0,8373	0,8474	0,8574	0,8674	0,8774	0,8874
16,5	0,7975	0,8076	0,8176	0,8276	0,8377	0,8477	0,8577	0,8677	0,8777	0,8877
17,0	0,7979	0,8079	0,8179	0,8280	0,8380	0,8480	0,8580	0,8681	0,8781	0,8881
17,5	0,7982	0,8083	0,8183	0,8283	0,8383	0,8483	0,8584	0,8684	0,8784	0,8884
18,0	0,7986	0,8086	0,8186	0,8287	0,8387	0,8487	0,8587	0,8687	0,8787	0,8887
18,5	0,7989	0,8090	0,8190	0,8290	0,8390	0,8490	0,8590	0,8690	0,8790	0,8890
19,0	0,7993	0,8093	0,8193	0,8293	0,8393	0,8493	0,8593	0,8694	0,8794	0,8894
19,5	0,7996	0,8097	0,8197	0,8297	0,8397	0,8497	0,8597	0,8697	0,8797	0,8897
20,0	0,8000	0,8100	0,8200	0,8300	0,8400	0,8500	0,8600	0,8700	0,8800	0,8900
20,5	0,8004	0,8103	0,8203	0,8303	0,8403	0,8503	0,8603	0,8703	0,8803	0,8903
21,0	0,8007	0,8107	0,8207	0,8307	0,8407	0,8507	0,8607	0,8706	0,8806	0,8906
21,5	0,8011	0,8110	0,8210	0,8310	0,8410	0,8510	0,8610	0,8710	0,8810	0,8910
22,0	0,8014	0,8114	0,8214	0,8313	0,8413	0,8513	0,8613	0,8713	0,8813	0,8913
22,5	0,8018	0,8117	0,8217	0,8317	0,8417	0,8516	0,8616	0,8716	0,8816	0,8916
23,0	0,8021	0,8121	0,8220	0,8320	0,8420	0,8520	0,8620	0,8719	0,8819	0,8919
23,5	0,8025	0,8124	0,8224	0,8324	0,8423	0,8523	0,8623	0,8723	0,8823	0,8922
24,0	0,8028	0,8128	0,8227	0,8327	0,8427	0,8526	0,8626	0,8726	0,8826	0,8926
24,5	0,8032	0,8131	0,8231	0,8330	0,8430	0,8530	0,8629	0,8729	0,8829	0,8929
25,0	0,8035	0,8134	0,8234	0,8334	0,8433	0,8533	0,8633	0,8732	0,8832	0,8932

0,900 to 0,990
0 to 25°C

Table A
Reduction of Density to 20°C

Obs TEMP °C	OBSERVED HYDROMETER READING									
	0,900	0,910	0,920	0,930	0,940	0,950	0,960	0,970	0,980	0,990
	CORRESPONDING DENSITY [KG PER LITRE] 20°C									
0,0	0,8871	0,8971	0,9072	0,9172	0,9272	0,9372	0,9472	0,9572	0,9672	0,9772
0,5	0,8874	0,8975	0,9075	0,9175	0,9275	0,9375	0,9475	0,9575	0,9675	0,9775
1,0	0,8877	0,8978	0,9078	0,9178	0,9278	0,9378	0,9478	0,9579	0,9679	0,9779
1,5	0,8881	0,8981	0,9081	0,9181	0,9281	0,9382	0,9482	0,9582	0,9682	0,9782
2,0	0,8884	0,8984	0,9084	0,9185	0,9285	0,9385	0,9485	0,9585	0,9685	0,9785
2,5	0,8887	0,8988	0,9088	0,9188	0,9288	0,9388	0,9488	0,9588	0,9688	0,9788
3,0	0,8890	0,8991	0,9091	0,9191	0,9291	0,9391	0,9491	0,9591	0,9692	0,9792
3,5	0,8894	0,8994	0,9094	0,9194	0,9294	0,9394	0,9495	0,9595	0,9695	0,9795
4,0	0,8897	0,8997	0,9097	0,9198	0,9298	0,9398	0,9498	0,9598	0,9698	0,9798
4,5	0,8900	0,9001	0,9101	0,9201	0,9301	0,9401	0,9501	0,9601	0,9701	0,9801
5,0	0,8903	0,9004	0,9104	0,9204	0,9304	0,9404	0,9504	0,9604	0,9704	0,9805
5,5	0,8907	0,9007	0,9107	0,9207	0,9307	0,9407	0,9507	0,9608	0,9708	0,9808
6,0	0,8910	0,9010	0,9110	0,9210	0,9310	0,9411	0,9511	0,9611	0,9711	0,9811
6,5	0,8913	0,9013	0,9114	0,9214	0,9314	0,9414	0,9514	0,9614	0,9714	0,9814
7,0	0,8916	0,9017	0,9117	0,9217	0,9317	0,9417	0,9517	0,9617	0,9717	0,9817
7,5	0,8920	0,9020	0,9120	0,9220	0,9320	0,9420	0,9520	0,9620	0,9720	0,9821
8,0	0,8923	0,9023	0,9123	0,9223	0,9323	0,9423	0,9524	0,9624	0,9724	0,9824
8,5	0,8926	0,9026	0,9126	0,9226	0,9327	0,9427	0,9527	0,9627	0,9727	0,9827
9,0	0,8929	0,9030	0,9130	0,9230	0,9330	0,9430	0,9530	0,9630	0,9730	0,9830
9,5	0,8933	0,9033	0,9133	0,9233	0,9333	0,9433	0,9533	0,9633	0,9733	0,9833
10,0	0,8936	0,9036	0,9136	0,9236	0,9336	0,9436	0,9536	0,9636	0,9736	0,9837
10,5	0,8939	0,9039	0,9139	0,9239	0,9339	0,9439	0,9540	0,9640	0,9740	0,9840
11,0	0,8942	0,9042	0,9142	0,9243	0,9343	0,9443	0,9543	0,9643	0,9743	0,9843
11,5	0,8945	0,9046	0,9146	0,9246	0,9346	0,9446	0,9546	0,9646	0,9746	0,9846
12,0	0,8949	0,9049	0,9149	0,9249	0,9349	0,9449	0,9549	0,9649	0,9749	0,9849
12,5	0,8952	0,9052	0,9152	0,9252	0,9352	0,9452	0,9552	0,9652	0,9752	0,9852
13,0	0,8955	0,9055	0,9155	0,9255	0,9355	0,9455	0,9556	0,9656	0,9756	0,9856
13,5	0,8958	0,9058	0,9158	0,9259	0,9359	0,9459	0,9559	0,9659	0,9759	0,9859
14,0	0,8962	0,9062	0,9162	0,9262	0,9362	0,9462	0,9562	0,9662	0,9762	0,9862
14,5	0,8965	0,9065	0,9165	0,9265	0,9365	0,9465	0,9565	0,9665	0,9765	0,9865
15,0	0,8968	0,9068	0,9168	0,9268	0,9368	0,9468	0,9568	0,9668	0,9768	0,9868
15,5	0,8971	0,9071	0,9171	0,9271	0,9371	0,9471	0,9571	0,9671	0,9772	0,9872
16,0	0,8974	0,9074	0,9174	0,9275	0,9375	0,9475	0,9575	0,9675	0,9775	0,9875
16,5	0,8978	0,9078	0,9178	0,9278	0,9378	0,9478	0,9578	0,9678	0,9778	0,9878
17,0	0,8981	0,9081	0,9181	0,9281	0,9381	0,9481	0,9581	0,9681	0,9781	0,9881
17,5	0,8984	0,9084	0,9184	0,9284	0,9384	0,9484	0,9584	0,9684	0,9784	0,9884
18,0	0,8987	0,9087	0,9187	0,9287	0,9387	0,9487	0,9587	0,9687	0,9787	0,9887
18,5	0,8990	0,9090	0,9190	0,9290	0,9390	0,9490	0,9590	0,9691	0,9791	0,9891
19,0	0,8994	0,9094	0,9194	0,9294	0,9394	0,9494	0,9594	0,9694	0,9794	0,9894
19,5	0,8997	0,9097	0,9197	0,9297	0,9397	0,9497	0,9597	0,9697	0,9797	0,9897
20,0	0,9000	0,9100	0,9200	0,9300	0,9400	0,9500	0,9600	0,9700	0,9800	0,9900
20,5	0,9003	0,9103	0,9203	0,9303	0,9403	0,9503	0,9603	0,9703	0,9803	0,9903
21,0	0,9006	0,9106	0,9206	0,9306	0,9406	0,9506	0,9606	0,9706	0,9806	0,9906
21,5	0,9010	0,9110	0,9210	0,9310	0,9410	0,9510	0,9609	0,9709	0,9809	0,9909
22,0	0,9013	0,9113	0,9213	0,9313	0,9413	0,9513	0,9613	0,9713	0,9813	0,9913
22,5	0,9016	0,9116	0,9216	0,9316	0,9416	0,9516	0,9616	0,9716	0,9816	0,9916
23,0	0,9019	0,9119	0,9219	0,9319	0,9419	0,9519	0,9619	0,9719	0,9819	0,9919
23,5	0,9022	0,9122	0,9222	0,9322	0,9422	0,9522	0,9622	0,9722	0,9822	0,9922
24,0	0,9026	0,9125	0,9225	0,9325	0,9425	0,9525	0,9625	0,9725	0,9825	0,9925
24,5	0,9029	0,9129	0,9229	0,9329	0,9429	0,9528	0,9628	0,9728	0,9828	0,9928
25,0	0,9032	0,9132	0,9232	0,9332	0,9432	0,9532	0,9632	0,9732	0,9832	0,9932

ANEXO 5 – Tabelas de conversão de densidade para 15°C

0,850 to 0,900		Density at 15°C, Specific Gravity and API Gravity to Density at 20°C		70,0 to 80,0° API	
DENSITY KG/LITRE 15°C	DENSITY KG PER LITRE AT 20 °C	SPECIFIC GRAVITY 60/60 °F	DENSITY KG PER LITRE AT 20 °C	API GRAVITY [60 °F]	DENSITY KG PER LITRE AT 20 °C
0,850	0,8466	0,850	0,8462	70,0	
0,851	0,8476	0,851	0,8472	70,2	0,6977
0,852	0,8486	0,852	0,8482	70,4	0,6970
0,853	0,8496	0,853	0,8492	70,6	0,6963
0,854	0,8506	0,854	0,8502	70,8	0,6956
					0,6949
0,855	0,8516	0,855	0,8512	71,0	0,6942
0,856	0,8526	0,856	0,8522	71,2	0,6935
0,857	0,8536	0,857	0,8532	71,4	0,6928
0,858	0,8546	0,858	0,8542	71,6	0,6921
0,859	0,8556	0,859	0,8552	71,8	0,6914
0,860	0,8566	0,860	0,8562	72,0	0,6907
0,861	0,8576	0,861	0,8572	72,2	0,6901
0,862	0,8586	0,862	0,8582	72,4	0,6894
0,863	0,8596	0,863	0,8592	72,6	0,6887
0,864	0,8606	0,864	0,8602	72,8	0,6880
0,865	0,8616	0,865	0,8612	73,0	0,6873
0,866	0,8626	0,866	0,8622	73,2	0,6867
0,867	0,8636	0,867	0,8632	73,4	0,6860
0,868	0,8646	0,868	0,8642	73,6	0,6853
0,869	0,8656	0,869	0,8652	73,8	0,6846
0,870	0,8666	0,870	0,8662	74,0	0,6839
0,871	0,8676	0,871	0,8672	74,2	0,6833
0,872	0,8687	0,872	0,8682	74,4	0,6826
0,873	0,8697	0,873	0,8692	74,6	0,6819
0,874	0,8707	0,874	0,8702	74,8	0,6813
0,875	0,8717	0,875	0,8712	75,0	0,6806
0,876	0,8727	0,876	0,8722	75,2	0,6799
0,877	0,8737	0,877	0,8732	75,4	0,6793
0,878	0,8747	0,878	0,8742	75,6	0,6786
0,879	0,8757	0,879	0,8752	75,8	0,6779
0,880	0,8767	0,880	0,8762	76,0	0,6773
0,881	0,8777	0,881	0,8772	76,2	0,6766
0,882	0,8787	0,882	0,8782	76,4	0,6760
0,883	0,8797	0,883	0,8792	76,6	0,6753
0,884	0,8807	0,884	0,8802	76,8	0,6747
0,885	0,8817	0,885	0,8812	77,0	0,6740
0,886	0,8827	0,886	0,8822	77,2	0,6733
0,887	0,8837	0,887	0,8832	77,4	0,6727
0,888	0,8847	0,888	0,8842	77,6	0,6720
0,889	0,8857	0,889	0,8852	77,8	0,6714
0,890	0,8867	0,890	0,8862	78,0	0,6707
0,891	0,8877	0,891	0,8872	78,2	0,6701
0,892	0,8887	0,892	0,8882	78,4	0,6695
0,893	0,8897	0,893	0,8892	78,6	0,6688
0,894	0,8907	0,894	0,8902	78,8	0,6682
0,895	0,8917	0,895	0,8912	79,0	0,6675
0,896	0,8927	0,896	0,8922	79,2	0,6669
0,897	0,8937	0,897	0,8932	79,4	0,6662
0,898	0,8947	0,898	0,8942	79,6	0,6656
0,899	0,8957	0,899	0,8952	79,8	0,6650
0,900	0,8967	0,900	0,8962	80,0	0,6643

0,950 to 1,000

Density at 15°C, Specific Gravity and
API Gravity to Density at 20°C

90,0 to 100,0° API

DENSITY KG/LITRE 15°C	DENSITY KG PER LITRE AT 20 °C	SPECIFIC GRAVITY 60/60 °F	DENSITY KG PER LITRE AT 20 °C	API GRAVITY [60 °F]	DENSITY KG PER LITRE AT 20 °C
0,950	0,9467	0,950	0,9462	90,0	0,6340
0,951	0,9477	0,951	0,9472	90,2	0,6334
0,952	0,9487	0,952	0,9482	90,4	0,6328
0,953	0,9497	0,953	0,9492	90,6	0,6322
0,954	0,9507	0,954	0,9502	90,8	0,6316
0,955	0,9517	0,955	0,9512	91,0	0,6311
0,956	0,9527	0,956	0,9522	91,2	0,6305
0,957	0,9537	0,957	0,9532	91,4	0,6299
0,958	0,9547	0,958	0,9542	91,6	0,6293
0,959	0,9557	0,959	0,9552	91,8	0,6288
0,960	0,9567	0,960	0,9562	92,0	0,6282
0,961	0,9577	0,961	0,9572	92,2	0,6276
0,962	0,9587	0,962	0,9582	92,4	0,6271
0,963	0,9597	0,963	0,9592	92,6	0,6265
0,964	0,9607	0,964	0,9602	92,8	0,6259
0,965	0,9617	0,965	0,9612	93,0	0,6253
0,966	0,9627	0,966	0,9622	93,2	0,6248
0,967	0,9637	0,967	0,9632	93,4	0,6242
0,968	0,9647	0,968	0,9642	93,6	0,6237
0,969	0,9657	0,969	0,9652	93,8	0,6231
0,970	0,9667	0,970	0,9662	94,0	0,6225
0,971	0,9677	0,971	0,9672	94,2	0,6220
0,972	0,9687	0,972	0,9682	94,4	0,6214
0,973	0,9697	0,973	0,9692	94,6	0,6208
0,974	0,9707	0,974	0,9702	94,8	0,6203
0,975	0,9717	0,975	0,9712	95,0	0,6197
0,976	0,9727	0,976	0,9722	95,2	0,6192
0,977	0,9737	0,977	0,9732	95,4	0,6186
0,978	0,9747	0,978	0,9742	95,6	0,6181
0,979	0,9757	0,979	0,9752	95,8	0,6175
0,980	0,9767	0,980	0,9762	96,0	0,6170
0,981	0,9777	0,981	0,9772	96,2	0,6164
0,982	0,9787	0,982	0,9782	96,4	0,6159
0,983	0,9797	0,983	0,9792	96,6	0,6153
0,984	0,9807	0,984	0,9802	96,8	0,6150
0,985	0,9817	0,985	0,9812	97,0	0,6145
0,986	0,9827	0,986	0,9822	97,2	0,6139
0,987	0,9837	0,987	0,9832	97,4	0,6134
0,988	0,9847	0,988	0,9842	97,6	0,6128
0,989	0,9857	0,989	0,9852	97,8	0,6123
0,990	0,9867	0,990	0,9862	98,0	0,6117
0,991	0,9877	0,991	0,9872	98,2	0,6112
0,992	0,9887	0,992	0,9882	98,4	0,6106
0,993	0,9897	0,993	0,9892	98,6	0,6101
0,994	0,9907	0,994	0,9902	98,8	0,6095
0,995	0,9917	0,995	0,9912	99,0	0,6090
0,996	0,9927	0,996	0,9922	99,2	0,6084
0,997	0,9937	0,997	0,9932	99,4	0,6079
0,998	0,9947	0,998	0,9942	99,6	0,6074
0,999	0,9957	0,999	0,9952	99,8	0,6068
1,000	0,9967	1,000	0,9962	100,0	0,6063

Anexo 5 – Tabelas dos valores de L e H usados no cálculo do índice de viscosidade

ASTM D 2270 – 04

TABLE 1 Basic Values for L and H for Kinematic Viscosity in 40 to 100°C System

Kinematic Viscosity at 100°C, mm ² /s (cSt)	L		H		Kinematic Viscosity at 100°C, mm ² /s (cSt)	L		H		Kinematic Viscosity at 100°C, mm ² /s (cSt)	L		H		Kinematic Viscosity at 100°C, mm ² /s (cSt)	L		H		
	L	H	L	H		L	H	L	H		L	H	L	H		L	H			
2.00	7.994	6.394	7.00	78.00	48.57	12.0	201.9	108.0	17.0	369.4	180.2	24.0	683.9	301.8	42.5	1935	714.9			
2.10	8.640	6.894	7.10	80.25	49.61	12.1	204.8	109.4	17.1	373.3	181.7	24.2	694.5	305.6	43.0	1978	728.2			
2.20	9.309	7.410	7.20	82.39	50.69	12.2	207.8	110.7	17.2	377.1	183.3	24.4	704.2	309.4	43.5	2021	741.3			
2.30	10.00	7.944	7.30	84.53	51.78	12.3	210.7	112.0	17.3	381.0	184.9	24.6	714.9	313.0	44.0	2064	754.4			
2.40	10.71	8.496	7.40	86.66	52.88	12.4	213.6	113.3	17.4	384.9	186.5	24.8	725.7	317.0	44.5	2108	767.6			
2.50	11.45	9.063	7.50	88.85	53.98	12.5	216.6	114.7	17.5	388.9	188.1	25.0	736.5	320.9	45.0	2152	780.9			
2.60	12.21	9.647	7.60	91.04	55.09	12.6	219.6	116.0	17.6	392.7	189.7	25.2	747.2	324.9	45.5	2197	794.5			
2.70	13.00	10.25	7.70	93.20	56.20	12.7	222.6	117.4	17.7	396.7	191.3	25.4	758.2	328.8	46.0	2243	808.2			
2.80	13.80	10.87	7.80	95.43	57.31	12.8	225.7	118.7	17.8	400.7	192.9	25.6	769.3	332.7	46.5	2288	821.9			
2.90	14.63	11.50	7.90	97.72	58.45	12.9	228.8	120.1	17.9	404.6	194.6	25.8	779.7	336.7	47.0	2333	835.5			
3.00	15.49	12.15	8.00	100.0	59.60	13.0	231.9	121.5	18.0	408.6	196.2	26.0	790.4	340.5	47.5	2380	849.2			
3.10	16.36	12.82	8.10	102.3	60.74	13.1	235.0	122.9	18.1	412.6	197.8	26.2	801.6	344.4	48.0	2426	863.0			
3.20	17.26	13.51	8.20	104.6	61.89	13.2	238.1	124.2	18.2	416.7	199.4	26.4	812.8	348.4	48.5	2473	876.9			
3.30	18.18	14.21	8.30	106.9	63.05	13.3	241.2	125.6	18.3	420.7	201.0	26.6	824.1	352.3	49.0	2521	890.9			
3.40	19.12	14.93	8.40	109.2	64.18	13.4	244.3	127.0	18.4	424.9	202.6	26.8	835.5	356.4	49.5	2570	905.3			
3.50	20.09	15.66	8.50	111.5	65.32	13.5	247.4	128.4	18.5	429.0	204.3	27.0	847.0	360.5	50.0	2618	919.6			
3.60	21.08	16.42	8.60	113.9	66.48	13.6	250.6	129.8	18.6	433.2	205.9	27.2	857.5	364.6	50.5	2667	933.6			
3.70	22.09	17.19	8.70	116.2	67.64	13.7	253.8	131.2	18.7	437.3	207.6	27.4	869.0	368.8	51.0	2717	948.2			
3.80	23.13	17.97	8.80	118.5	68.79	13.8	257.0	132.6	18.8	441.5	209.3	27.6	880.6	372.3	51.5	2767	962.9			
3.90	24.19	18.77	8.90	120.9	69.94	13.9	260.1	134.0	18.9	445.7	211.0	27.8	892.3	376.4	52.0	2817	977.5			
4.00	25.32	19.56	9.00	123.3	71.10	14.0	263.3	135.4	19.0	449.9	212.7	28.0	904.1	380.6	52.5	2867	992.1			
4.10	26.50	20.37	9.10	125.7	72.27	14.1	266.6	136.8	19.1	454.2	214.4	28.2	915.8	384.6	53.0	2918	1007			
4.20	27.75	21.21	9.20	128.0	73.42	14.2	269.8	138.2	19.2	458.4	216.1	28.4	927.6	388.8	53.5	2969	1021			
4.30	29.07	22.05	9.30	130.4	74.57	14.3	273.0	139.6	19.3	462.7	217.7	28.6	938.6	393.0	54.0	3020	1036			
4.40	30.48	22.92	9.40	132.8	75.73	14.4	276.3	141.0	19.4	467.0	219.4	28.8	951.2	396.6	54.5	3073	1051			
4.50	31.96	23.81	9.50	135.3	76.91	14.5	279.6	142.4	19.5	471.3	221.1	29.0	963.4	401.1	55.0	3126	1066			
4.60	33.52	24.71	9.60	137.7	78.08	14.6	283.0	143.9	19.6	475.7	222.8	29.2	975.4	405.3	55.5	3180	1082			
4.70	35.13	25.63	9.70	140.1	79.27	14.7	286.4	145.3	19.7	479.7	224.5	29.4	987.1	409.5	56.0	3233	1097			
4.80	36.79	26.57	9.80	142.7	80.46	14.8	289.7	146.8	19.8	483.9	226.2	29.6	998.9	413.5	56.5	3286	1112			
4.90	38.50	27.53	9.90	145.2	81.67	14.9	293.0	148.2	19.9	488.6	227.7	29.8	1011	417.6	57.0	3340	1127			
5.00	40.23	28.49	10.0	147.7	82.87	15.0	296.5	149.7	20.0	493.2	229.5	30.0	1023	421.7	57.5	3396	1143			
5.10	41.99	29.46	10.1	150.3	84.08	15.1	300.0	151.2	20.2	501.5	233.0	30.5	1055	432.4	58.0	3452	1159			
5.20	43.76	30.43	10.2	152.9	85.30	15.2	303.4	152.6	20.4	510.8	236.4	31.0	1086	443.2	58.5	3507	1175			
5.30	45.53	31.40	10.3	155.4	86.51	15.3	306.9	154.1	20.6	519.9	240.1	31.5	1119	454.0	59.0	3563	1190			
5.40	47.31	32.37	10.4	158.0	87.72	15.4	310.3	155.6	20.8	528.8	243.5	32.0	1151	464.9	59.5	3619	1206			
5.50	49.09	33.34	10.5	160.6	88.95	15.5	313.9	157.0	21.0	538.4	247.1	32.5	1184	475.9	60.0	3676	1222			
5.60	50.87	34.32	10.6	163.2	90.19	15.6	317.5	158.6	21.2	547.5	250.7	33.0	1217	487.0	60.5	3734	1238			
5.70	52.64	35.29	10.7	165.8	91.40	15.7	321.1	160.1	21.4	556.7	254.2	33.5	1251	498.1	61.0	3792	1254			
5.80	54.42	36.26	10.8	168.5	92.65	15.8	324.6	161.6	21.6	566.4	257.8	34.0	1286	509.6	61.5	3850	1270			
5.90	56.20	37.23	10.9	171.2	93.92	15.9	328.3	163.1	21.8	575.6	261.5	34.5	1321	521.1	62.0	3908	1286			
6.00	57.97	38.19	11.0	173.9	95.19	16.0	331.9	164.6	22.0	585.2	264.9	35.0	1356	532.5	62.5	3966	1303			
6.10	59.74	39.17	11.1	176.6	96.45	16.1	335.5	166.1	22.2	595.0	268.6	35.5	1391	544.0	63.0	4026	1319			
6.20	61.52	40.15	11.2	179.4	97.71	16.2	339.2	167.7	22.4	604.3	272.3	36.0	1427	555.6	63.5	4087	1336			
6.30	63.32	41.13	11.3	182.1	98.97	16.3	342.9	169.2	22.6	614.2	275.8	36.5	1464	567.1	64.0	4147	1352			
6.40	65.18	42.14	11.4	184.9	100.2	16.4	346.6	170.7	22.8	624.1	279.6	37.0	1501	579.3	64.5	4207	1369			
6.50	67.12	43.18	11.5	187.6	101.5	16.5	350.3	172.3	23.0	633.6	283.3	37.5	1538	591.3	65.0	4268	1386			
6.60	69.16	44.24	11.6	190.4	102.8	16.6	354.1	173.8	23.2	643.4	286.8	38.0	1575	603.1	65.5	4329	1402			
6.70	71.29	45.33	11.7	193.3	104.1	16.7	358.0	175.4	23.4	653.8	290.5	38.5	1613	615.0	66.0	4392	1419			
6.80	73.48	46.44	11.8	196.2	105.4	16.8	361.7	177.0	23.6	663.3	294.4	39.0	1651	627.1	66.5	4455	1436			
6.90	75.72	47.51	11.9	199.0	106.7	16.9	365.6	178.6	23.8	673.7	297.9	39.5	1691	639.2	67.0	4517	1454			
												40.0	1730	651.8	67.5	4580	1471			
												40.5	1770	664.2	68.0	4645	1488			
												41.0	1810	676.6	68.5	4709	1506			
												41.5	1851	689.1	69.0	4773	1523			
												42.0	1892	701.9	69.5	4839	1541			
												70.0			4905	1558				



PALA-PALA 2T

ÓLEO PARA MOTORES A 2 TEMPOS

APLICAÇÕES

- Todos os motores a gasolina a dois tempos;
- Ciclo-motores ou motorizadas (<50CC);
- Utilizados em equipamento de Jardinagem e agrícolas (máquinas de cortar relva, etc....);
- Mistura-se com gasolina de acordo com a percentagem recomendada pelo construtor.

PROPRIEDADES

- Viscosidade especialmente adaptada :
- à lubrificação de motores 2 tempos equipados de sistema independente de lubrificação
- à utilização em mistura.
- Pre-diluído para assegurar uma mistura homogénea.

CARACTERÍSTICAS

PALA-PALA 2T	UNIDADES	
Massa volumétrica a 15°C	kg/m ³	880
Viscosidade a 40°C	mm ² /s	70
Viscosidade a 100°C	mm ² /s	9.5
Índice de Viscosidade (min.)	-	112
Ponto de inflamação Cleveland	°C	97
Ponto de congelação	°C	-12

ESPECIFICAÇÕES

JASO FB (033 TOT 007)
ISO-L-EGB
API TA-TSC 3



ZEBRA

FLUÍDO DE TRANSMISSÃO AUTOMÁTICA (ATF)

APLICAÇÕES

- Transmissões automáticas ou semi-automáticas e conversores de torque para carros de passageiros, veículos ligeiros comerciais e veículos industriais, no caso em que o qfabricante requiere um Fluido de Transmissão Automática GM DEXRON -IID.
- Caixas Manuais de engrenagens no caso em que se necessita de um fluido ATF
- Transmissões Hidrostáticos.
- Direcção assistida.
- Sistemas hidráulicos no caso em que se necessita de um fluido tipo GM DEXRON -IID.

PROPRIEDADES

- Índice de viscosidade extremamente elevado aliado a uma excelente estabilidade da viscosidade em funcionamento.
- Ponto de fluidez muito baixo.
- Muito boa estabilidade térmica.
- Excelente resistência a oxidação.
- Propriedades específicas de fricção às exigências hidráulicas da GENERAL MOTORS.

CARACTERÍSTICAS

ZEBRA	UNIDADES	
Massa volumétrica a 15°C	kg/m ³	870
Côr	-	Vermelha
Viscosidade a 40°C	mm ² /s	36.8
Viscosidade a 100°C	mm ² /s	7.2
Índice de viscosidade	-	163
Viscosidade a -40°C	mPa.s	47500
Ponto de inflamação Cleveland	°C	210
Ponto de congelação	°C	-44

ESPECIFICAÇÕES

BMW group 23-30
 BMW group 24-30
 CATERPILLAR TO-2
 GENERAL MOTORS 6137M-79 (DEXRON-IID: licença nº D-20356)
 VOITH G 607
 ZF TE-ML 04D, 09B, 11A, 17C