



Avaliação Técnica de Lubrificantes Comerciais SAE 10W-30 para Motocicletas

Guilherme Silva Araújo

Projeto Final de Curso

Orientadora

Erika Christina Ashton Nunes Chrisman

Co-orientador

Rodrigo Affonso Pfaffenzeller

Agosto de 2022

AVALIAÇÃO TÉCNICA DE LUBRIFICANTES COMERCIAIS SAE 10W-30 PARA MOTOCICLETAS

Guilherme Silva Araújo

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenharia Química.

Aprovado por:

Nevardo Bello Yaya, M.Sc.

Marcia de Sant'Anna Rocha, M.Sc.

Orientado por:

Erika Christina Ashton Nunes Chrisman, D.Sc. (Orientadora)

Rodrigo Affonso Pfaffenzeller (Co-orientador)

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Agosto de 2022

Araújo, Guilherme Silva.

Avaliação técnica de lubrificantes comerciais SAE 10W-30 para motocicletas. Guilherme Silva Araújo. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2022

xiii, 104p.; il. (Projeto Final) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2022

Orientadora: Erika Christina Ashton Nunes Chrisman

1. Engenharia Química. 2. Óleos lubrificantes para motocicletas. 3. Estudo comparativo

4. Projeto Final. (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Erika Christina Ashton Nunes Chrisman, D.Sc.

A minha madrinha Elza, por todo o carinho que sempre teve comigo, aos meus pais, Rosania e Denivaldo, por serem desde sempre meus grandes exemplos e ao meu irmão Leonardo, que só me enche de orgulho.

“Quem não lutar
Pra conquistar o que sonhou
Fazer por merecer
Se iluminar
Com a luz que há no vencedor
Pode até ganhar
E méritos não ter”

Candeia/Luiz Carlos da Vila – A Luz do Vencedor

AGRADECIMENTOS

A Gerência de Desenvolvimento Tecnológico de Lubrificantes (DTEC) da Vibra Energia, pela autorização de uso dos resultados deste estudo comparativo, sem a correlação dos valores aos fabricantes citados.

A professora Erika, pelo suporte na execução deste trabalho.

A minha família, por todo o apoio e incentivo que me deram em todos os momentos.

Aos meus amigos, Luis Felipe e Deivid Alves, pelo apoio na realização das análises de embalagens presentes neste trabalho.

Resumo do Projeto de Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenharia Química.

AVALIAÇÃO TÉCNICA DE LUBRIFICANTES COMERCIAIS SAE 10W-30 PARA MOTOCICLETAS

Guilherme Silva Araújo

Agosto, 2022

Orientadora: Erika Christina Ashton Nunes Chrisman

As motocicletas possuem grande importância na mobilidade urbana e são instrumento de trabalho para muitos trabalhadores. A realização de uma correta manutenção desse veículo é fundamental para seus usuários. Este trabalho objetivou realizar um estudo comparativo técnico de óleos lubrificantes comerciais para motocicletas viscosidade SAE 10W-30 de diferentes marcas, de modo a avaliar os principais produtos do segmento presentes no mercado brasileiro quanto ao atendimento aos requisitos de desempenho e a relação custo/benefício. Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica baseada na obra de autores pertinentes ao tema, além de medições experimentais das propriedades físico-químicas de alguns lubrificantes propostos para o estudo. Como resultados foi possível constatar que de maneira geral, todos os produtos avaliados apresentaram bons resultados frente aos limites estabelecidos pelas normas de desempenho aplicáveis, conferindo as especificações mínimas desejáveis aos produtos comerciais, com exceção ao atendimento do ensaio de formação de espuma. Concluiu-se que o índice de viscosidade, a estabilidade ao cisalhamento e os teores de elementos de aditivação destacaram-se como propriedades físico-químicas importantes no desempenho do produto, justificando o perfil de preços observado.

Palavras Chaves: 1. Engenharia Química. 2. Óleos lubrificantes para motocicletas. 3. Estudo comparativo

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	Objetivo Geral.....	13
2.2	Objetivos Específicos.....	13
3	REVISÃO TEÓRICA.....	14
3.1	Óleos Lubrificantes.....	14
3.1.1	Óleos básicos.....	14
3.1.2	Aditivos.....	19
3.1.2.1	Antioxidantes.....	20
3.1.2.2	Abaixadores do ponto de fluidez.....	23
3.1.2.3	Melhoradores do índice de viscosidade.....	24
3.1.2.4	Detergentes e dispersantes.....	26
3.1.2.5	Agentes antiespumantes.....	28
3.1.2.6	Modificadores de atrito.....	28
3.1.2.7	Agentes antidesgaste.....	29
3.1.2.8	Compostos antiferrugem.....	31
3.2	Lubrificantes para motocicletas e suas propriedades físico-químicas... 31	
3.2.1	Coeficiente de atrito/fricção e classificação JASO T903.....	32
3.2.2	Classificação API.....	33
3.2.3	Viscosidade e classificação SAE J300.....	35
3.2.4	Índice de Viscosidade (IV).....	38
3.2.5	Estabilidade ao cisalhamento.....	39
3.2.6	Densidade.....	40
3.2.7	Ponto de fluidez.....	40
3.2.8	Ponto de Fulgor.....	41
3.2.9	Perda de evaporação.....	41
3.2.10	Formação de espuma.....	41
3.2.11	Metais de aditivação.....	42
3.3	Mercado brasileiro de lubrificantes.....	43
4	METODOLOGIA.....	47
4.1	Aquisição de produtos.....	47
4.2	Análise físico-químicas.....	48
4.2.1	Densidade – ASTM D4052.....	50
4.2.2	Viscosidade Cinemática a 100°C e 40°C – ASTM D445.....	51
4.2.3	Índice de Viscosidade – ASTM D2270.....	51
4.2.4	Viscosidade aparente a -25°C usando Cold-Cranking Simulator (CCS) ASTM D5293.....	52
4.2.5	Viscosidade High Temperature / High Shear a 150°C (HTHS) ASTM D4683.....	53
4.2.6	Ponto de Fulgor Cleveland Open Cup (COC) – ASTM D92.....	54
4.2.7	Formação de Espuma – ASTM D892.....	54
4.2.8	Perda por Evaporação, 1h a 250°C – ASTM D5800.....	56
4.2.9	Ponto de Fluidez – ASTM D7346.....	56
4.2.10	Determinação de elementos por Espectrofotometria de Emissão de Plasma – ASTM D4951.....	58

4.2.11 Estabilidade ao Cisalhamento, Usando Bico Injetor de Diesel Europeu – ASTM D6278.....	59
4.3 Análise estatística	60
4.4 Análise de embalagens	61
4.5 Análise Econômica.....	62
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
5.1 Densidade – ASTM D4052.....	63
5.2 Viscosidade Cinemática a 100°C e 40°C – ASTM D445.....	64
5.3 Índice de Viscosidade – ASTM D2270.....	66
5.4 Viscosidade. Aparente a -25°C usando Cold-Cranking Simulator – ASTM D5293.....	68
5.5 Viscosidade. High Temperature / High Shear a 150°C (HTHS) – ASTM D5481.....	70
5.6 Ponto de Fulgor Cleveland Open Cup – ASTM D92	71
5.7 Formação de Espuma – ASTM D892.....	72
5.8 Perda por Evaporação, 1h a 250°C – ASTM D5800	74
5.9 Ponto de Fluidez – ASTM D7346.....	76
5.10 Determinação de Elementos por Espectrofotometria de Emissão de Plasma – ASTM D4951	77
5.11 Estabilidade ao Cisalhamento, Usando Bico Injetor de Diesel Europeu – ASTM D6278.....	84
5.12 Avaliação de Embalagens.....	86
5.13 Avaliação econômica	94
6 CONCLUSÕES.....	97
7 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS	98
8 REFERÊNCIAS	100

ÍNDICE DE SIGLAS E ABREVIações

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

API – American Petroleum Institute (Instituto Americano de Petróleo)

ASTM – American Society for Testing and Materials (Associação Americana para Teste de Materiais)

BDTC - Dibutilditiocarbamato

BHT - 2,6-di-tert-butil-4-metilfenol

CCS – Cold Cranking Simulator (simulador de partida a frio)

DDMA – Dodecil metacrilato

DPA – Difenilamina

HDMA – Hexadecil metacrilato

HP – Fenol impedido

HTHS – High Temperature High Shear (alta temperatura e alta taxa de cisalhamento)

JASO - Japanese Automotive Standards Organization (Organização Japonesa de Padrões Automotivos)

MIV – Melhorador de Índice de Viscosidade

MMA – Metacrilato de metila

MoDTP - Ditiófosfato de molibdênio

ODMA – Octadecil metacrilato

PIBSI - Sussinimida de poli-isobuteno

PPD – Pour Point Depressant (abaixador de ponto de fluidez)

SAE – Society of Automotive Engineers (Associação de Engenheiros Automotivos)

TDMA – Tetradecil metacrilato

ZDDC - Diamil ditiocarbamato de zinco

ZDDP - Dialquil ditiófosfato de zinco

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura dos principais óleos básicos sintéticos. (a) Polialfaolefina a partir de α -alcenos. (b) Ésteres de ácidos dibásicos. (c) Silicones. (d) Compostos de ésteres de poliol (POE). (e) Poliisobutilenos	18
Figura 2 – a) 2,6-DTB. (b) BHT, (c) 4,4'-metilenobis(2,6-di-tert-butilfenol)	21
Figura 3 – Difenilamina genérica	21
Figura 4 – Estrutura dos antioxidantes livres de fósforo DPA, HP e BDTC	22
Figura 5 – Complexo de zinco (N-Salicilideno Poli Metil Acrílico Hidrazida)	22
Figura 6 – Poli decil acrilato, utilizado como aditivo abaixador de ponto de fluidez.	23
Figura 7 – Tipos de melhoradores de índice de viscosidade	25
Figura 8 – Fenatos de Cálcio	26
Figura 9 – Estrutura geral de salicilatos	26
Figura 10 – Tiofosfonatos: (a) tiopirofosfonato, (b) tiofosfonatos, (c) fosfonato	26
Figura 11 – Sussinimida de poli-isobuteno (PIBSI)	27
Figura 12 – Síntese do PIBSI-BSb a partir do PIBSI	27
Figura 13 – Ácido 4-nonilfenoxiacético	31
Tabela 14 – Equipamento Rudolph Research Analytical DDM 2911 utilizado nos ensaios de densidade	50
Figura 15 – Viscosímetro Herzog HVM472 utilizado nos ensaios de viscosidade cinemática a 100°C e 40°C	51
Figura 16 – Equipamento Cannon CCS 2100 utilizado nos ensaios de viscosidade CCS a -25°C	52
Figura 17 – Equipamento Cannon HTHS SERIE 2 utilizado nos ensaios de viscosidade HTHS	53
Figura 18 – Equipamento Tanaka ACO-T602 utilizado para determinação do Ponto de Fulgor	54
Figura 19 – Equipamento Tannas Foam Aie Bath utilizado para o ensaio de formação de espuma	55
Figura 20 – Equipamento Tannas Noack S2 utilizado para o ensaio de perda por evaporação	56
Figura 21 – Equipamento MPP 5Gs utilizado para o ensaio de ponto de fluidez	57
Figura 22 – Equipamento ICP-OES Spectro Arcos.	58
Figura 23 – Equipamento DUCOM Shear Stability Tester.	59
Figura 24 – Visor de nível nas embalagens	91
Figura 25 – Ex. Frasco com selo de alumínio e lacre sob a tampa	93
Figura 26 – Tampa com trava e bico retrátil do produto 11	94
Figura 27 – Tampa com lacre e bico com rosca do produto	94

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Estrutura das composições dos óleos minerais	15
Tabela 2 – Características dos óleos básicos minerais parafínicos e naftênicos	17
Tabela 3 – Resultados de propriedades de fricção em testes em embreagem	32
Tabela 4 – Propriedades físico-químicas exigidas pela JASO T903	33
Tabela 5 – Níveis de desempenho API para motores automotivos a gasolina	34
Tabela 6 – Classificação SAE J300 para lubrificantes automotivos	36
Tabela 7 – Elementos aditivos e suas funções no lubrificante	42
Tabela 8 – Níveis de performance JASO, API e de viscosidade SAE J300 dos 12 produtos avaliados	48
Tabela 9 – Limites de especificação de viscosidade para lubrificantes grau SAE 10W-30	49
Tabela 10 – Limites de especificação para lubrificantes de motocicletas conforme JASO T903	49
Tabela 11 – Limites de especificação para lubrificantes de nível API SL, SM e SN	50
Tabela 12 – Comparação de densidades de óleos básicos grupos II e III	64
Tabela 13 – Metais presentes em óleo em uso e suas indicações de desgaste	78
Tabela 14 – Material de fabricação dos rótulos	88
Tabela 15 – Período de validade informado no rótulo	90
Tabela 16 – Presença de lacre e/ou selo nas tampas	93

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Mercado Brasileiro de Lubrificantes 2020 e 2021-01	44
Gráfico 2 – Mercado Brasileiro de Lubrificantes por segmento de produtos – 2021	45
Gráfico 3 – Participação de Mercado Brasileiro de Lubrificantes – 2021	45
Gráfico 4 – Participação de Mercado Brasileiro de Lubrificantes para Motores Ciclo Otto – 2021	46
Gráfico 5 – : Representação das 8 regiões avaliadas	61
Gráfico 6 – Resultados de densidade	63
Gráfico 7 – Resultados de viscosidade cinemática a 100°C	65
Gráfico 8 – Resultados de viscosidade cinemática a 40°C	66
Gráfico 9 – Resultados de índice de viscosidade	67
Gráfico 10 – Resultados de viscosidade aparente a -25°C usando CCS	69
Gráfico 11 – Resultados de viscosidade HTHS a 150°C	70
Gráfico 12 – Resultados de Ponto de Fulgor Cleveland Open Cup	71
Gráfico 13 – Resultados de Formação de Espuma – sequência I (tendência)	72
Gráfico 14 – Resultados de Formação de Espuma – sequência II (tendência)	73
Gráfico 15 – Resultados de Formação de Espuma – sequência III (tendência)	74
Gráfico 16 – Resultados de perda por evaporação, 1h a 250°C	75
Gráfico 17 – Resultados de ponto de fluidez	76
Gráfico 18 - Resultados de teor de fósforo	78
Gráfico 19 - Resultados de teor de cálcio	79
Gráfico 20 - Resultados de teor de magnésio	80
Gráfico 21 - Resultados de teor de zinco	81
Gráfico 22 - Resultados de teor de molibdênio	82
Gráfico 23 - Resultados de teor de titânio	83
Gráfico 24 - Resultados dos teores dos 6 elementos reunidos	83
Gráfico 25 - Resultados de estabilidade ao cisalhamento – queda percentual de viscosidade após 30 ciclos	84
Gráfico 26 - Resultados de estabilidade ao cisalhamento – viscosidade a 100°C após 30 ciclos	85
Gráfico 27 -: Resultados de massa do frasco vazio com tampa	87
Gráfico 28 - Resultados de espessura dos frascos	89
Gráfico 29 - Conteúdo líquido de produto	89
Gráfico 30 - Tempo de prateleira	92
Gráfico 31 - Preços de aquisição dos 12 produtos avaliados	95
Gráfico 32 - Preços de aquisição, excluindo o produto 12	96

1. INTRODUÇÃO

O uso de motocicletas vem se tornando fundamental na mobilidade urbana e na economia. Com a pandemia de Covid-19, os aplicativos de *delivery* registraram aumentos expressivos no número de entregadores cadastrados, tornando-se uma relevante fonte de ocupação nesse momento de instabilidade e falta de ofertas de empregos formais. Grande parte desses trabalhadores fazem uso das motocicletas como meio de locomoção para a realização das entregas e precisam estar atentos à correta manutenção de seu instrumento de trabalho.

Uma das principais maneiras de manter o motor em bom estado, reduzindo a necessidade de maiores despesas com reparos é através da troca do óleo lubrificante na frequência correta. No caso das motocicletas, além do motor, o óleo lubrificante também atua no câmbio e sistema de transmissão, assumindo uma relevância ainda maior na manutenção do veículo.

Além da importância para a manutenção do veículo, a correta lubrificação da motocicleta está associada a fatores ambientais relevantes. A utilização de lubrificantes diferentes do recomendado pelo fabricante pode prejudicar fortemente o consumo de combustível do motor, intensificando as emissões para a atmosfera. Além disso, a troca de óleo com frequência acima da necessária também não é uma prática ambientalmente correta, devido à geração de resíduos de óleo e de embalagens desnecessários.

A lubrificação das motocicletas, portanto, trata-se de um dos aspectos mais importantes da manutenção destes veículos, sendo fundamental ao consumidor ter informações quanto à qualidade e o preço dos óleos lubrificantes.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar estudo comparativo técnico de óleos lubrificantes comerciais para motocicletas viscosidade SAE 10W-30 de diferentes marcas, de modo a avaliar os principais produtos do segmento presentes no mercado brasileiro quanto ao atendimento aos requisitos de desempenho e a relação custo/benefício.

2.2. Objetivos Específicos

- Analisar 12 óleos lubrificantes comerciais através de 12 análises físico químicas que conferem as especificações mínimas desejáveis aos produtos comerciais;
- Avaliar estatisticamente os produtos em relação às suas semelhanças e diferenças de tecnologia e ao seu enquadramento às especificações mínimas requeridas para comercialização destes produtos;
- Avaliar a qualidade das embalagens, suas dimensões e informações contidas no rótulo;
- Comparar preços comerciais de aquisição dos produtos e correlacionar com as características investigadas;
- Identificar características físico químicas importantes para uma relação custo/benefício mais eficiente.

3. REVISÃO TEÓRICA

3.1. Óleos Lubrificantes

A principal função de um lubrificante é formar uma película entre duas superfícies que se movem relativamente entre si, impedindo o contato direto entre elas. Com isso, é possível reduzir o atrito, exigindo menor força e evitando o desgaste das peças envolvidas. Dependendo da aplicação, estes produtos podem ainda exercer função de refrigeração, limpeza, transmissão de força mecânica, vedação, entre outras funções. No caso dos automóveis (como as motocicletas), o óleo lubrificante atua evitando o contato direto dos pistões com os cilindros do motor, além de vedar, refrigerar e limpar o motor (SCHUELTER, 2014).

Os óleos lubrificantes consistem na mistura de uma variedade de óleos básicos e aditivos químicos, a fim de, entre outras funções já mencionadas, reduzir o coeficiente de atrito, reduzindo possíveis desgastes às peças durante a sua movimentação. Com o avanço das tecnologias mecânicas, o desenvolvimento destes produtos precisa permanecer alinhado às novas especificações técnicas, exigindo do mercado a produção de lubrificantes cada vez mais eficientes. Quanto às suas formulações, os lubrificantes podem conter características completamente distintas, variando de acordo com as exigências do mercado, em relação às especificações técnica e à aplicação do produto (ALMEIDA, 2019).

3.1.1. Óleos Básicos

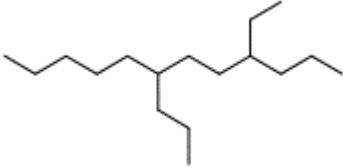
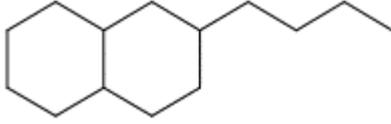
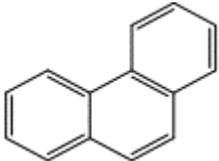
Os óleos básicos são os componentes de maior importância e volume nos óleos lubrificantes. Dependendo do tipo de família de lubrificante, os óleos básicos podem assumir diferentes porcentagens em relação a composição final do produto. Nos óleos hidráulicos e óleos para compressores, a composição apresenta apenas 1% de aditivos, enquanto os 99% restantes são óleos básicos. Por outro lado, outros tipos de lubrificantes, como fluidos metalúrgicos, graxas e óleos de engrenagens podem conter acima de 30% de aditivos (BARTELS, THORSTEN, *et al.*, 2000).

No caso de óleos para motocicletas, a proporção é de cerca de 80% de óleos básicos e 20% de aditivos. Os óleos básicos para lubrificantes são geralmente obtidos a partir do refino de óleo cru, chamados de óleos básicos minerais; ou obtidos por síntese química, chamados de bases sintéticas (CARRETEIRO E BELMIRO, 2006).

Óleos básicos minerais são obtidos através da destilação e do refino do petróleo e constituem a matéria-prima principal utilizada para a fabricação de óleos lubrificantes (CANCHUMANI, 2013).

Os óleos minerais obtidos possuem em média de 20 a 50 átomos de carbono por molécula apresentando-se em cadeias parafínicas (alcanos lineares ou ramificados), naftênicos (cicloalcanos com cadeias laterais) ou aromáticos (principalmente alquil benzenos) (SILVA, 2012).

Tabela 1 - Estrutura das composições dos óleos minerais

Tipo de óleo	Exemplo de cadeias de carbono
Parafínicos	
Naftênicos	
Aromáticos	

Fonte: Silva (2012)

Os compostos aromáticos não são adequados para fins de lubrificação, uma vez que trazem baixo índice de viscosidade e pior estabilidade à oxidação ao óleo básico. Além disso, são compostos altamente cancerígenos e ambientalmente perigosos. Nesse caso, podem ser feitas algumas operações de separação como o objetivo de minimizar o teor de aromáticos no óleo base, como a extração de aromáticos com solvente. Desse modo os óleos básicos resultantes podem ser classificados em parafínicos e naftênicos, para que

possam ser utilizados como lubrificantes. Cada uma dessas classes de óleos apresenta propriedades peculiares, o que torna seus óleos indicados para aplicações específicas e contra indicando-os para outras. Não há, portanto, sentido em dizer que um óleo é melhor que o outro por ser parafínico ou naftênico, sem que se leve em consideração a aplicação a qual o óleo será submetido (CARRETEIRO E BELMIRO, 2006). Nos óleos para motocicletas, utilizam-se as bases parafínicas devido ao seu alto índice de viscosidade. Além disso, de acordo com a Resolução ANP Nº 804 de 20/12/2019, é vedado o uso de óleos básicos naftênicos em lubrificantes para motores automotivos.

As bases parafínicas apresentam como principais características o elevado índice de viscosidade (IV) e o alto ponto de fluidez. O índice de viscosidade é uma propriedade que determina o quanto as variações de temperatura afetam no valor de viscosidade do fluido. Quanto maior for esse índice, mais estável é a temperatura frente às variações térmicas, o que é extremamente importante para lubrificantes que precisam atuar em uma ampla faixa de temperaturas. Já o ponto de fluidez é a temperatura mínima abaixo da qual o líquido deixa de fluir e, neste tipo de óleo básico, as longas cadeias parafínicas cristalizam em temperaturas relativamente altas, prejudicando a capacidade do óleo fluir. Durante o processo de refino do óleo com maiores características parafínicas, realiza-se a desparafinação com solvente, com intuito de eliminar as cadeias parafínicas maiores, reduzindo o ponto de fluidez e melhorando as características de escoamento a baixas temperaturas. Mesmo assim, frequentemente, faz-se necessário o uso de aditivos redutores de ponto de fluidez em óleos lubrificantes que utilizam bases parafínicas (CARRETEIRO E BELMIRO, 2006 e SILVA, 2012).

Por outro lado, os óleos de características naftênicas apresentam teores relativamente mais altos de carbonos em cadeias cíclicas. Deste modo, ao contrário das bases parafínicas, o corte de um cru naftênico apresenta teores muito baixos de parafinas lineares e não precisa passar pelo processo de desparafinação. Seu ponto de fluidez pode chegar a -51 °C. Por outro lado, este tipo de óleo apresenta valores baixos de IV (índice de viscosidade), o que torna difícil a sua aplicação na formulação de óleos para motores, sendo mais

utilizados nas formulações de óleos de corte, óleos para amortecedores e como óleo isolante para transformadores elétricos (SILVA, 2012).

Na tabela 2 encontram-se indicadas as principais divergências nas características normais dos óleos parafínicos e naftênicos.

Tabela 2 - Características dos óleos básicos minerais parafínicos e naftênicos

Características	Parafínicos	Naftênicos
Ponto de Fluidez	Alto	Baixo
Índice de Viscosidade	Alto	Baixo
Resistência à oxidação	Grande	Pequena
Resíduo de carbono	Grande	Pequeno
Emulsibilidade	Pequena	Grande

Fonte: Adaptado de Carreteiro e Belmiro (2006)

Com o avanço tecnológico e a necessidade do uso de lubrificantes aptos a suportarem condições adversas, tornou-se necessário o desenvolvimento de óleos sintéticos, ou seja, obtidos a partir de síntese química. Algumas das vantagens técnicas dos lubrificantes sintéticos são a alta resistência a temperaturas extremas e suas variações, melhor resistência à oxidação, estabilidade química e maior vida útil do óleo. Os principais óleos sintéticos utilizados atualmente são os oligômeros de olefina (polialfaolefinas ou PAO's), ésteres de ácidos dibásicos, ésteres de organofosfatos, ésteres de silicatos, silicones, compostos de ésteres de poliol (poliol éster ou POE), polibutenos ou poliisobutenos, poliglicóis (polialquilenoglicóis ou PAG) e alquilados aromáticos (CARRETEIRO E BELMIRO, 2006) (Figura 1).

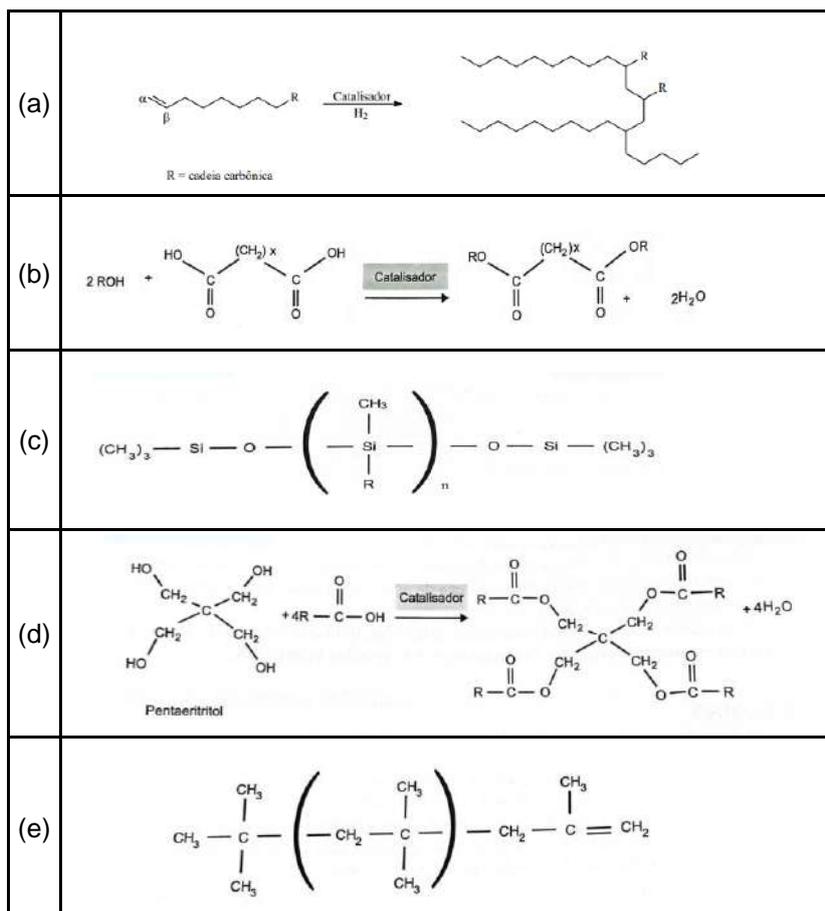


Figura 1: Estrutura dos principais óleos básicos sintéticos. (a) Polialfaolefina a partir de α -alcenos. (b) Ésteres de ácidos dibásicos. (c) Silicones. (d) Compostos de ésteres de poliál (POE). (e) Poliisobutilenos

Fonte: Adaptado de ANP (2016) e Carreteiro e Belmiro (2006)

É possível notar que há uma grande variedade de tipos de óleos básicos utilizados na indústria. Com o intuito de padronizar as especificações dos óleos básicos nas refinarias de todo o mundo e atender às necessidades de qualidade da indústria automobilística, o *American Petroleum Institute (API)* nos Estados Unidos e a *Association Technique de L'Industrie Europeenne des Lubrificants (ATIEL)* na Europa adotaram um sistema de classificação dos óleos básicos. Para a criação deste sistema alguns parâmetros principais foram tomados como base: o teor de enxofre, o teor de saturados e o índice de viscosidade. Assim, os óleos básicos foram classificados nos seguintes grupos (CARRETEIRO E BELMIRO, 2006):

- Grupo I: Teor de enxofre maior que 0,03%, teor de saturados menor que 90% e índice de viscosidade entre 80 e 120.

- Grupo II: Recebem tratamento com hidrogênio, o que coloca o teor de enxofre abaixo de 0,03% e o teor de saturados acima de 90%, mas o índice de viscosidade permanece entre 80 e 120.
- Grupo III: O óleo recebe um tratamento com hidrogênio ainda mais severo e um processo de isomerização. O índice de viscosidade é elevado acima de 120, continuando com teor de enxofre abaixo de 0,03% e teor de saturados acima de 90%.
- Grupo IV: Polialfaolefinas (PAO's).
- Grupo V: Para outros óleos básicos sintéticos que não estão enquadrados nos outros grupos, como ésteres e poliglicóis.
- Grupo VI: Criado exclusivamente para abrigar um tipo de oligômero de olefina fabricado na Europa, chamado de Polinternalolefina (PIO's).

Para os óleos de motocicletas, utilizam-se principalmente os óleos básicos grupos I, II e III, dependendo da classificação (mineral, sintética ou semissintética) que se deseja atribuir ao produto. Tal classificação é definida pela Resolução ANP Nº 804, de 20/12/2019, que estabelece as proporções de óleos básicos minerais e sintéticos que devem ser empregadas em cada uma destas classes. De acordo com essa Resolução, lubrificante mineral é o produto majoritariamente composto por óleos básicos minerais, podendo conter óleos básicos sintéticos em teor inferior a 10% em massa. Os lubrificantes semissintéticos são os produtos que possuem os óleos básicos mineral e sintético em sua formulação, com teor de óleo básico sintético igual ou superior a 10% em massa. Por fim, o lubrificante sintético é o produto que não possui em sua composição outro óleo básico além dos óleos básicos sintéticos.

3.1.2. Aditivos

Aditivos são compostos químicos utilizados para melhorar o desempenho do lubrificante. Algumas características, como a volatilidade do óleo nas condições de operação, dependem exclusivamente da base lubrificante escolhida e não podem ser modificadas com outras substâncias. Entretanto, muitas outras propriedades podem ser aprimoradas através do uso de aditivos. Eles podem ressaltar propriedades existentes, eliminar características adversas, ou introduzir novas propriedades ao óleo. Os aditivos

podem ser introduzidos ao óleo básico desde níveis traço até 30% da massa total. As principais funções dos aditivos são como: antioxidantes, modificadores de viscosidade, abaixadores de ponto de fluidez, detergentes, dispersantes, agentes antiespuma, antidesgastes, modificadores de atrito e anticorrosivos. A indústria de aditivos para lubrificantes frequentemente desenvolve pacotes de aditivos, que proporcionam ao lubrificante o atendimento aos padrões de desempenho exigidos. Ao agregar diversos aditivos em um único pacote, simplifica-se a aquisição de insumos e os processos de mistura na fabricação de lubrificantes (BADERNA *et al.* 2011, CARRETEIRO E BELMIRO, 2006 e MELACHUS *et al.*, 2015).

A seguir é apresentada uma breve descrição dos principais aditivos utilizados em óleos lubrificantes.

3.1.2.1. Antioxidantes

Compostos antioxidantes são utilizados para reduzir ou retardar o processo de envelhecimento do óleo, influenciando no tempo de vida do óleo básico do lubrificante. Os antioxidantes podem ser classificados em duas categorias de acordo com o mecanismo de ação antioxidante: sequestradores de radicais (ou antioxidantes primários) e decompositores de peróxido (ou antioxidantes secundários). Enquanto os antioxidantes primários reagem com os produtos de oxidação radicalar formando uma espécie não reativa e impedindo a propagação de oxidantes radicais, os antioxidantes secundários são capazes de evitar a propagação da reação oxidativa convertendo hidroperóxidos em produtos que não possuem radicais (BADERNA *et al.* 2011).

Com relação à estrutura química, os antioxidantes podem também ser classificados como: compostos fenólicos, aminas aromáticas e compostos contendo enxofre e fósforo. Dentre os compostos fenólicos, os exemplos mais comuns são o 2,6-di-tert-butilfenol (2,6-DTB), 2,6-di-tert-butil-4-metilfenol (BHT) e fenóis polinucleares (como o 4,4'-metilenobis(2,6-di-tert-butilfenol) (Figura 2).

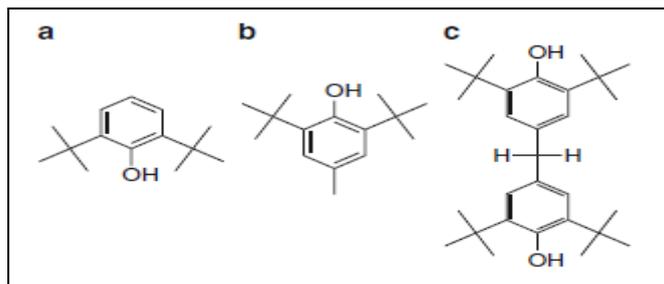


Figura 2: (a) 2,6-DTB. (b) BHT, (c) 4,4'-metilenobis(2,6-di-tert-butilfenol)

Fonte: Baderna *et al.* (2011)

Aminas aromáticas podem ser exemplos de antioxidantes primários utilizados em graxas e lubrificantes polares. Essa classificação inclui aminas secundárias aromáticas solúveis em óleo como as difenilaminas alquiladas (Figura 3).

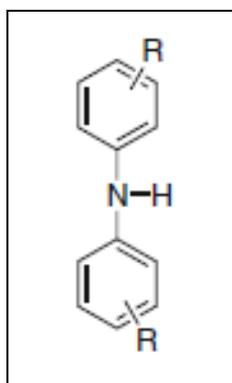


Figura 3: Difenilamina genérica

Fonte: Baderna *et al.* (2011)

Ditiofosfatos de zinco são os compostos contendo fósforo mais difundidos como antioxidantes primários. São aditivos muito importantes devido às suas propriedades multifuncionais, como antidesgaste, anticorrosão e aditivo para extrema pressão, que possibilita que o lubrificante mantenha o filme de lubrificação mesmo sob altas cargas (BADERNA *et al.* 2011 e PAPAY, 1998).

Liping *et al.* (2017) avaliaram a eficácia de antioxidantes livres de fósforo na estabilidade à oxidação e propriedades tribológicas de lubrificantes em altas temperaturas. Os aditivos sem fósforo avaliados foram a difenilamina (DPA), fenol impedido (HP) e dibutilditiocarbamato (BDTC), que, combinados com dialquiditiofosfato de zinco, foram adicionados como antioxidantes em óleo

básico e em lubrificante 5W-30 e as estabilidades de oxidação foram avaliadas. A figura 4 apresenta a estrutura dos antioxidantes avaliados.

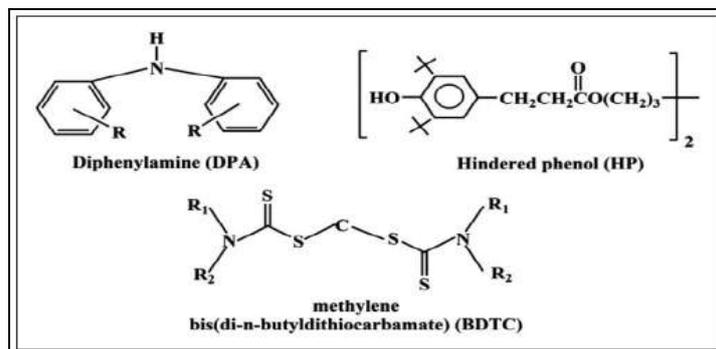


Figura 4: Estrutura dos antioxidantes livres de fósforo DPA, HP e BDTC.

Fonte: Adaptado de Liping *et al* (2017)

Os resultados do estudo indicaram que um antioxidante ternário ideal, com boas propriedades antioxidantes, seria composto de BDTC:DPA:HP na proporção de 2:1:2, e que o óleo 5W-30 contendo antioxidantes livres de fósforo, nesta proporção ideal, teve melhores propriedades tribológicas do que o óleo 5W-30 comercial. Salah *et al.* (2021) propuseram um novo complexo polimérico de zinco com atividade antioxidante para uso em óleos lubrificantes industriais. Nesse estudo, foi sintetizado o complexo de zinco (N-Salicilideno Poli Metil Acrílico Hidrazida), que teve o seu comportamento antioxidante investigado por testes de densidade, quantidade total de ácido, viscosidade e resíduo de carbono em amostra de óleo lubrificante.

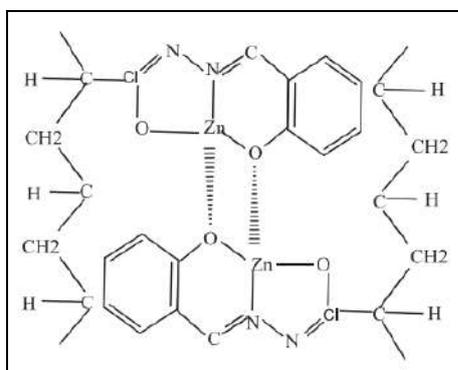


Figura 5: Complexo de zinco (N-Salicilideno Poli Metil Acrílico Hidrazida)

Fonte: Adaptado de Salah *et al.* (2021)

O estudo demonstrou que o complexo de zinco sintetizado apresentou melhores propriedades antioxidantes que os aditivos tradicionais e concluiu que este novo antioxidante sintético pode ser usado em lubrificantes para substituir os aditivos diamil ditiocarbamato de zinco (ZDDC) e dialquil ditiofosfato de zinco (ZDDP), pois esses antioxidantes tradicionais contêm enxofre e fósforo que produzem cinzas e podem causar depósito no escapamento do veículo.

3.1.2.2. Abaixadores do ponto de fluidez

O ponto de fluidez de um lubrificante pode ser definido como a temperatura mínima abaixo da qual o líquido deixa de fluir. Polialquil metilacrilatos, poliacrilatos e copolímeros de acetato de etileno de vinila são comumente utilizados como abaixadores do ponto de fluidez. O mecanismo de funcionamento é baseado na capacidade desses polímeros em interagir com os cristais dos componentes parafínicos resultando em uma alteração na morfologia destes cristais. Um bom abaixador de ponto de fluidez, mesmo em quantidades reduzidas na formulação do lubrificante, como 0,2% em peso, pode diminuir o ponto de fluidez do óleo parafínico ou lubrificante em 30-35°C. (BADERNA *et al.* 2011 e DAS, 2011).

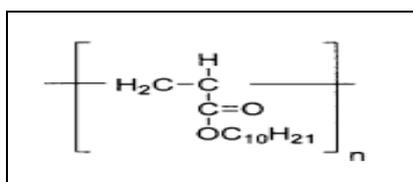


Figura 6: Poli decil acrilato, utilizado como aditivo abaixador de ponto de fluidez.

Fonte: DAS (2011)

Jung *et al.* (2011) propuseram a síntese de polímeros de polimetacrilato por polimerização de radicais livres e avaliaram seu uso como abaixadores de ponto de fluidez em óleo lubrificante. Foram sintetizados quatro monômeros de Metacrilato pela esterificação de Metacrilato de Metila (MMA) com quatro tipos de álcoois graxos. Os álcoois utilizados foram Dodecanol, Tetradecanol, Hexadecanol e Octadecanol, obtendo-se os monômeros Dodecil Metacrilato (DDMA), Tetradecil Metacrilato (TDMA), Hexadecil Metacrilato (HDMA) e Octadecil Metacrilato (ODMA). Foram analisados os pontos de fluidez dos

óleos básicos contendo 0,1% em massa dos polímeros de polimetacrilato sintetizados e observou-se que os pontos de fluidez da maioria das amostras de óleo básico contendo cada polímero diminuiu em comparação com de óleo puro. Particularmente, o polímero sintetizado a partir de DDMA, HDMA e MMA, com razão molar de 3,5:3,5:3, apresentou as melhores propriedades em baixa temperatura, reduzindo o ponto de fluidez do óleo básico em 23°C.

3.1.2.3. Melhoradores do índice de viscosidade (MIV)

São polímeros de cadeia longa e alto peso molecular, que, quando misturados ao óleo básico, proporcionam uma menor variação de viscosidade do óleo em função das variações de temperatura. Isso ocorre devido à forma com que o polímero altera sua configuração física com a variação de temperatura. Os compostos químicos utilizados normalmente são: poliisobutenos, polialquimetacrilatos, copolímeros de vinil-acetato, copolímeros de olefinas (OCP), poliacrilatos, copolímeros de estireno-isopropeno hidrogenados e copolímeros de estireno-butadieno hidrogenados (BARTELS *et al.* 2000, CARRETEIRO e BELMIRO, 2006 e PORTAL LUBES, 2021) (Figura 7).

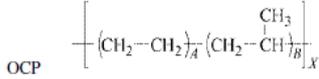
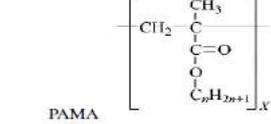
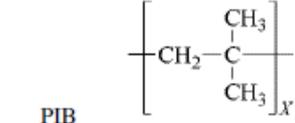
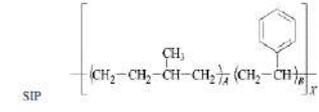
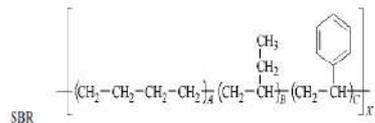
Tipo de MIV	Descrição	Principais aplicações
 <p>OCP</p>	Copolímeros de olefinas	Óleos de moto e hidráulicos
 <p>PAMA</p>	Polialquilmacrilatos	Óleos hidráulicos e de engrenagens
 <p>PIB</p>	Poliisobutenos	Óleos de engrenagens e matéria prima para dispersantes livres de cinzas
 <p>SIP</p>	Copolímeros de estireno-isopreno hidrogenados	Óleos de motor
 <p>SBR</p>	Copolímeros de estireno-butadieno hidrogenados	Óleos de motor

Figura 7 - Tipos de melhoradores de índice de viscosidade

Fonte: Adaptado de Bartels *et al.*(2000)

Todos esses produtos são polímeros cuja solubilidade no óleo básico aumentam com a elevação da temperatura. Em baixas temperaturas, as moléculas poliméricas do MIV apresentam-se na forma contraída, manifestam menor solubilização no óleo e pouco aumentam a viscosidade do lubrificante. Ao contrário, quando submetidas a altas temperaturas, as moléculas encontram-se na forma descontraída e com maior solubilidade no óleo básico. Nessa condição, as moléculas aumentadas de volume aumentam a viscosidade do lubrificante (CARRETEIRO e BELMIRO, 2006).

Nota-se, desse modo que o MIV age no sentido contrário ao comportamento natural de queda de viscosidade do fluido com aumento de temperatura, permitindo que o lubrificante possa ser aplicado em uma ampla faixa de temperaturas.

3.1.2.4. Detergentes e dispersantes

Detergentes e dispersantes mantêm em suspensão os produtos de combustão insolúveis em óleo. Com isso, previne-se a formação de aglomerados de partículas sólidas nas partes internas do motor. Geralmente, esses aditivos são compostos químicos contendo metais com uma longa cadeia lipofílica e uma região polar hidrofílica. O grupo polar é capaz de interagir com os contaminantes do lubrificante, enquanto a cadeia lipofílica age como solubilizadora no óleo básico (BADERNA *et al.* 2011).

As classes mais importantes de detergentes são os fenatos (Figura 8), salicilatos (Figura 9), sulfonatos e tiofosfonatos (Figura 10).

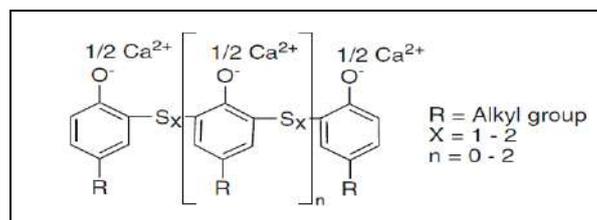


Figura 8: Fenatos de cálcio

Fonte: Baderna *et al.* (2011)

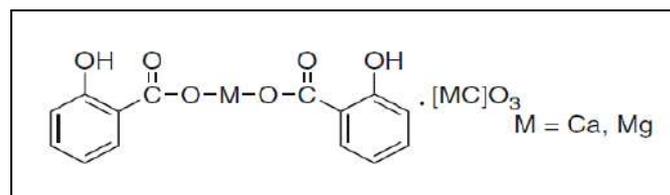


Figura 9: Estrutura geral de salicilatos

Fonte: Baderna *et al.* (2011)

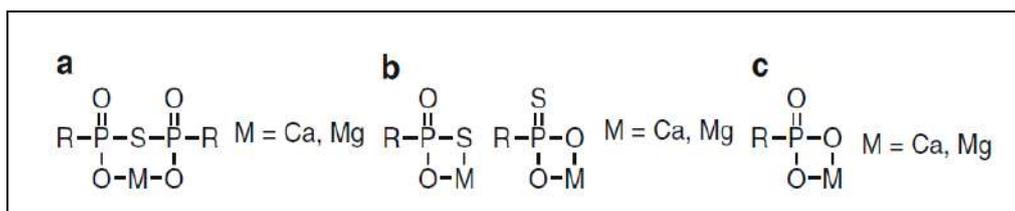


Figura 10: Tiofosfonatos: (a) tiopirofosfonato, (b) tiofosfonatos, (c) fosfonato

Fonte: Baderna *et al.* (2011)

Dispersantes livres de cinzas não possuem compostos metálicos derivados de polímeros de hidrocarbonetos. Os principais exemplos desta classe são os polibutenos como a sussinimida de poli-isobuteno (PIBSI) (Figura 11). O PIBSI vem sendo usado extensivamente como dispersante comercial devido à sua boa performance a baixa temperatura e bom poder de dispersão de produtos de oxidação insolúveis (BADERNA *et al.* 2011 e WANG *et al.* 2021).

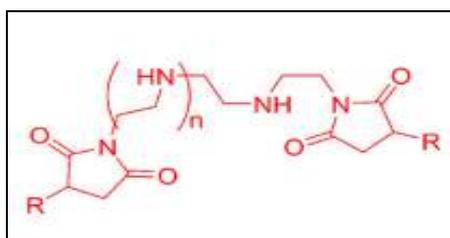


Figura 11: Sussinimida de poli-isobuteno (PIBSI)

Fonte: Adaptado de Wang *et al.*(2021)

Wang *et al.* (2021) propuseram um novo aditivo multifuncional para lubrificantes (PIBSI-BSb), sintetizado a partir de modificação do dispersante PIBSI com base de Schiff boratada (Figura 12).

O estudo demonstrou que as propriedades antidesgaste e antioxidantes do PIBSI foram melhoradas pela modificação com a base de Schiff boratada, porém a ação como dispersante não foi alterada.

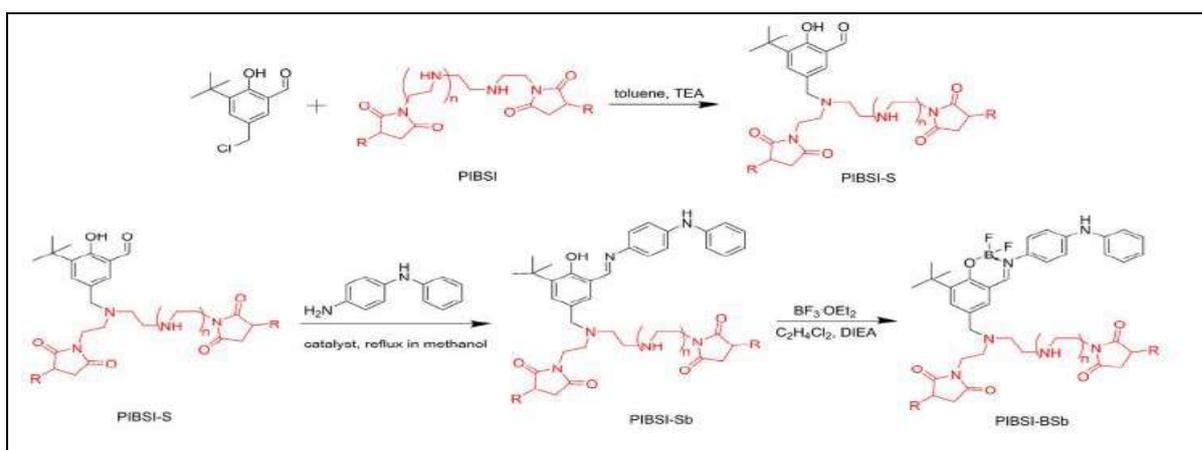


Figura 12: Síntese do PIBSI-BSb a partir do PIBSI

Fonte: Adaptado de Wang *et al.* (2021)

3.1.2.5. Agentes antiespumantes

São aditivos utilizados para prevenir a formação de espuma em lubrificantes. A presença de espuma no óleo é indesejada por acelerar a sua oxidação e também por prejudicar a formação do filme lubrificante. Os antiespumantes podem ser classificados em duas principais categorias: antiespumantes de silicone e agentes sem silicone, como polietileno glicóis e polimetacrilatos (BADERNA *et al.* 2011).

3.1.2.6. Modificadores de atrito

O controle de atrito e desgaste em óleos para motor geralmente é obtido com uso de compostos como ditiofosfato de zinco (ZDDP), ditiofosfato de molibdênio (MoDTP) e outros compostos fosfatados. Apesar da boa eficiência destes aditivos, há uma preocupação em torno da geração de depósitos de fósforo e enxofre, nociva aos motores. O uso de nanopartículas de TiO_2 vem sendo utilizados como alternativa na aditivação de lubrificantes para redução de desgaste e atrito, reduzindo também o problema da formação de depósitos (VIJAYARAJ *et al.* 2016 e WU e KAO, 2011).

Wu e Kao (2011) avaliaram, em motor de motocicleta, o uso de nanopartículas de TiO_2 como aditivo redutor de atrito. Neste estudo, comparou-se a força de atrito entre o cilindro e o pistão do motor utilizando três diferentes óleos lubrificantes: óleo parafínico convencional 10W-40, sem TiO_2 , e dois tipos de lubrificantes parafínicos aditivados com TiO_2 em nanofluido, um com 220 nm e outro com 120 nm de tamanho de partícula. Como resultado dos testes, mostrou-se que a adição de TiO_2 resultou numa força de atrito bem menor quando comparada ao lubrificante convencional. Além disso, que a força de atrito apresenta maior redução com a diminuição do tamanho de partícula do TiO_2 .

Óleos de motocicletas e óleos de veículos de passageiros são muito semelhantes, com a exceção de alguns aspectos que são chaves para a operação da motocicleta. A principal diferença decorre do fato de que, nas motocicletas, o sistema de transmissão está dentro do bloco do motor, de modo que o óleo lubrificante é utilizado também para lubrificar e resfriar a

transmissão. Por estar em contato com a transmissão, não é desejável que o lubrificante possua um coeficiente de atrito tão baixo, evitando a derrapagem da embreagem. Já em um carro de passeio, a transmissão é lubrificada por um óleo diferente do motor e possui propriedades de atrito próprias para a transmissão. Portanto, o óleo do motor da motocicleta não contém os mesmos modificadores de fricção do óleo do motor de automóveis de passageiros (ABID *et al.* 2019).

Tendo em vista essa diferença entre os motores de carros e de motos, Abid *et al.* (2019) analisou os efeitos do uso de óleos para veículos de passageiros em motocicletas. Foram feitos testes de consumo de combustível e teste de tempo de arrancada utilizando dois tipos de lubrificantes 10W-40, um para carros e outro para motos, em uma motocicleta.

Além disso, após os testes, os lubrificantes novos e usados foram levados para análise de metais contaminantes, de modo a indicar algum desgaste sofrido pelo motor de teste. O estudo concluiu que não houve variações significativas de consumo de combustível nem de tempo de arrancada quando se substituiu o óleo de moto pelo óleo de carro. Contudo, a análise de metais de desgaste presentes no óleo após o teste indicou que o uso constante de lubrificante para carro causa um sério risco de quebra para o motor de motocicleta.

3.1.2.7. Agentes antidesgaste

Aditivos antidesgaste são constituintes importantes em muitas formulações de lubrificantes que protegem o equipamento do desgaste e permitem que opere satisfatoriamente sob condições de cargas elevadas. As funções antidesgaste que estes aditivos proporcionam são necessárias quando altas cargas ou baixas velocidades deixam de manter o filme de lubrificação hidrodinâmica (HDL) e inicia-se a lubrificação limítrofe. Nessas condições, as asperezas do equipamento não se encontram suficientemente separadas e são forçadas a entrar em contato. O aditivo antidesgaste age substituindo o próprio filme lubrificante entre as superfícies metálicas reduzindo consideravelmente a taxa de desgaste. Os aditivos de extrema pressão atuam de maneira

semelhante aos aditivos antidesgaste, porém sua reação com a superfície metálica sob pressão é maior e, portanto, a taxa de formação do filme de aditivo é maior, formando um filme mais resistente e espesso (PAPAY, 1998).

Reyes e Neville (2003) analisaram o efeito do uso de aditivos antidesgaste, detergentes e modificadores de atrito na lubrificação limítrofe de peças metálicas a base de ferro. Nesse estudo, quatro diferentes composições de lubrificantes foram avaliadas:

- i) Óleo mineral sem aditivos (óleo básico);
- ii) Óleo básico mineral contendo 1,2% em massa de aditivo antidesgaste dialquilditiofosfato de zinco (óleo+ZDDP);
- iii) Óleo básico mineral contendo 1,2% em massa de ZDDP mais 1,2% em massa do detergente sulfonato de cálcio (óleo+ZDDP+Ca);
- iv) Óleo mineral contendo 1,5% em massa do modificador de atrito ditiofosfato de molibdênio (óleo+MoDTP);

Foram realizados testes de resposta de atrito em peça de rolamento de aço submetidas a diferentes cargas e tempos de teste, além de testes de desgaste, avaliando a perda de massa das peças metálicas e as cicatrizes microscópicas geradas em suas superfícies após o teste. A amostra utilizando óleo básico, conforme esperado, apresentou os maiores valores de coeficiente de atrito nas condições avaliadas, bem como os resultados mais severos de desgaste nas peças do rolamento metálico. Os testes realizados com a amostra óleo+ZDDP apresentaram menor coeficiente de atrito e menor desgaste quando comparados a amostra contendo apenas óleo básico. A amostra óleo+MoDTP apresentou os menores valores de coeficiente de atrito e os perfis mais suaves de desgaste.

Curiosamente, a amostra de óleo+ZDDP+Ca apresentou o maior efeito do aumento da carga de teste no coeficiente de atrito. Para essa amostra, observou-se que, na menor carga utilizada, o coeficiente de atrito foi superior à amostra contendo apenas óleo+ZDDP, porém, nas cargas mais altas, o coeficiente estabiliza-se em valores próximos aos obtidos com óleo+MoDTP. Desse modo, o estudo concluiu que ocorrem alterações entre o detergente e os

aditivos ZDDP que levam a mudanças na resposta de atrito e na formação de filme de lubrificação.

3.1.2.8. Compostos antiferrugem

Sulfonatos de petróleo, sulfonatos de alquilbenzeno sintéticos, derivados de ácido carboxílico como parafinas oxidadas, ácidos succínicos alquilados, lanolina e ácido 4-nonilfenoxiacético (Figura 13) são os aditivos antiferrugem mais comumente usados.

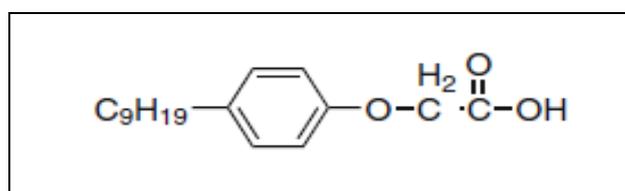


Figura 13: Ácido 4-nonilfenoxiacético

Fonte: Baderna *et al.* (2011)

3.2. Lubrificantes para motocicletas e suas propriedades físico-químicas

Óleos lubrificantes para veículos de passageiros foram utilizados por um bom tempo também como óleo para motores quatro tempos a gasolina de motocicletas. Contudo, a crescente demanda por boa performance de economia de combustível dos óleos para veículos de passageiros vem tornando suas viscosidades e coeficientes de fricção cada vez menores, o que é inadequado para o uso em motocicletas. Essa incompatibilidade ocorre, como já citado, pois, ao contrário dos motores de veículos de passageiros, nos motores quatro tempos de motocicletas, a embreagem e a transmissão encontram-se dentro do bloco do motor. É o chamado *wet clutch system*, ou sistema de embreagem úmida. Sendo assim, o óleo utilizado nessas motocicletas atua simultaneamente na lubrificação do motor, da embreagem e da transmissão, de modo que, caso o lubrificante apresente coeficiente de fricção muito baixo, pode-se observar o indesejado deslizamento de embreagem, ou mesmo o comprometimento da durabilidade da engrenagem devido à baixa viscosidade do óleo (ISOBE *et al.* 2004 e WATANABE, 2010).

Devido a esta particularidade, torna-se necessário entender as propriedades físico-químicas necessárias para o adequado enquadramento deste óleo lubrificante para uso em motocicletas.

3.2.1. Coeficiente de atrito/fricção e classificação JASO T 903

Devido ao seu sistema de embreagem úmida, os óleos adequados para motores quatro tempos de motocicletas vêm sendo classificados de acordo com propriedades de fricção em testes em embreagem estabelecidas pelo padrão JASO T 903, da *Japan Automobile Standards Organization* (JASO). Segundo a norma JASO T 903, o óleo pode ser categorizado em quatro níveis de desempenho: MA, MA1, MA2 e MB (ISOBE *et al.* 2004 e JASO, 2018).

Os parâmetros de fricção avaliados pela JASO T 903 são o índice característico de fricção dinâmica (DFI), índice característico de fricção estática (SFI) e o índice de tempo de parada (STI), e os valores especificados para cada nível (MA, MA1, MA2 e MB) são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados de propriedades de fricção em testes em embreagem

Método de Teste	Item de Avaliação	Classificação			
		MA	MA2	MA1	MB
JASO T 903:2016	DFI - Índice de Fricção Dinâmica Característica	$\geq 1,15$ e $< 2,50$	$\geq 1,50$ e $< 2,50$	$\geq 1,35$ e $< 1,50$	$\geq 0,40$ e $< 1,35$
	SFI - Índice de Fricção Estática Característica	$\geq 1,45$ e $< 2,50$	$\geq 1,60$ e $< 2,50$	$\geq 1,45$ e $< 1,60$	$\geq 0,40$ e $< 1,45$
	STI - Índice de Tempo de Parada	$\geq 1,40$ e $< 2,50$	$\geq 1,60$ e $< 2,50$	$\geq 1,40$ e $< 1,60$	$\geq 0,40$ e $< 1,40$

Fonte: Jaso (2018)

A JASO T 903, além de estabelecer os parâmetros de índices de fricção, também determina outros critérios físico-químicos que os lubrificantes para motocicletas devem atender, conforme Tabela 4.

Tabela 4: Propriedades físico-químicas exigidas pela JASO T903

Item de Teste		Critério de Performance
Cinzas sulfatadas (% mássica)		1,2 no máximo
Teor de fósforo (% mássica)		$\geq 0,08$ e $\leq 0,12$
Perda por evaporação (% mássica)		20 no máximo
Formação de espuma (tendência/estabilidade)	Sequência I	10 mL/0 mL
	Sequência II	50 mL/0 mL
	Sequência III	10 mL/0 mL
Estabilidade ao cisalhamento (viscosidade cinemática a 100°C após o teste) (cSt)	xW-30: acima de 9,0	
	xW-40: acima de 12,0	
	xW-50: acima de 15,0	
	Outros graus: permanecer com a viscosidade do grau original	
Viscosidade em alta temperatura e alta taxa de cisalhamento (cP)		Acima de 2,9

Fonte: Jaso (2018)

Tais limites aplicam-se a todos os quatro níveis de desempenho. No presente trabalho, os resultados obtidos serão confrontados com esses limites de especificação, de modo a verificar o atendimento a norma pelos lubrificantes analisados.

3.2.2. Classificação API

Outra importante classificação de desempenho aplicada aos lubrificantes para motocicletas, e que também se aplica aos lubrificantes para os demais motores movidos a gasolina ou a diesel, é a classificação API. Essa especificação tem sido usada para definir o nível de performance do lubrificante através de testes em motores, testes de laboratório e propriedades físico-químicas. A classificação API está em constante atualização, de acordo com o desenvolvimento de motores cada vez mais modernos. Para os motores automotivos a gasolina, como no caso das motocicletas, a categoria de serviço da API mais recente inclui as propriedades de performance de cada categoria anterior e poderá ser usada na manutenção de motores mais antigos quando forem recomendados os óleos de categoria anterior (API, 2021 e ISHIKAWA *et al.* 2016).

As categorias de serviço da API atuais e anteriores, para motores automotivos a gasolina (inclusive motocicletas), estão listadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Níveis de desempenho API para motores automotivos a gasolina

Categoria	Status	Serviço
SN	Atual	Introduzido em outubro de 2010, destinado a fornecer maior proteção contra acúmulo de depósitos em alta temperatura para pistões, controle mais rigoroso de lodo e compatibilidade de vedação. O API SN com conservação de recursos corresponde ao ILSAC GF-5, combinando o desempenho do API SN com a maior economia de combustível, a proteção do turbocompressor, a compatibilidade com sistemas de controle de emissões e a proteção de motores que funcionam com combustíveis que contêm etanol até E85.
SM	Atual	Para motores automotivos de 2010 e mais antigos.
SL	Atual	Para motores automotivos de 2004 e mais antigos.
SJ	Atual	Para motores automotivos de 2001 e mais antigos.
SH	Obsoleto	Não é adequado para ser usado na maioria dos motores automotivos a gasolina produzidos após 1996. Pode não fornecer proteção adequada contra oxidação, desgaste ou acúmulos de lodo no motor.
SG	Obsoleto	Não é adequado para ser usado na maioria dos motores automotivos a gasolina produzidos após 1993. Pode não fornecer proteção adequada contra oxidação, desgaste ou acúmulos de lodo no motor.
SF	Obsoleto	Não é adequado para ser usado na maioria dos motores automotivos a gasolina produzidos após 1988. Pode não fornecer proteção adequada contra acúmulos de lodo no motor.
SE	Obsoleto	Não é adequado para ser usado na maioria dos motores automotivos a gasolina produzidos após 1979.
SD	Obsoleto	Não é adequado para ser usado na maioria dos motores automotivos a gasolina produzidos após 1971. O uso em motores mais modernos pode produzir desempenho insatisfatório ou danos ao equipamento.
SC	Obsoleto	Não é adequado para ser usado na maioria dos motores automotivos a gasolina produzidos após 1967. O uso em motores mais modernos pode produzir desempenho insatisfatório ou danos ao equipamento.

SB	Obsoleto	Não é adequado para ser usado na maioria dos motores automotivos a gasolina produzidos após 1951. O uso em motores mais modernos pode produzir desempenho insatisfatório ou danos ao equipamento.
SA	Obsoleto	Não contém aditivos. Não é adequado para ser usado na maioria dos motores automotivos a gasolina produzidos após 1930. O uso em motores modernos pode produzir desempenho insatisfatório ou danos ao equipamento.

Fonte: API (2021)

No presente trabalho, foram avaliados lubrificantes de motocicletas com nível API SL, SM e SN.

3.2.3. Viscosidade e classificação SAE J300

A viscosidade é uma das propriedades físico-químicas mais importantes dos óleos lubrificantes e pode ser definida como a resistência ao escoamento que o fluido apresenta, sendo uma propriedade fortemente influenciada pela temperatura. Um alto valor de viscosidade indica a formação de filme lubrificante mais espesso, enquanto baixos valores de viscosidade sugerem filmes mais finos (Kania, 2015). A existência do filme de lubrificação é fundamental para a atuação do lubrificante entre as peças dos equipamentos. O desenvolvimento de motores modernos de carros e motos, cada vez menores e com maior foco em economia de combustível, exigem o desenvolvimento de lubrificantes cada vez menos viscosos, cujo filme deve ocupar espaços menores mantendo a perfeita movimentação das peças do motor (ISHIKAWA *et al.* 2016).

Além das especificações de desempenho API e JASO T 903, estabeleceu-se a classificação SAE J300 com intuito de categorizar os óleos lubrificantes automotivos de acordo com suas propriedades viscosimétricas. Trata-se de uma classificação de grande relevância para o consumidor que precisa utilizar o óleo de viscosidade adequada para o bom funcionamento de sua moto. Este padrão é estabelecido e mantido pela *Engine Oil Viscosity Task Force*, um grupo composto por várias partes interessadas importantes do setor, incluindo representantes de OEMs, comerciantes de óleo, fabricantes de instrumentos e empresas de aditivos (ISHIKAWA *et al.* 2016 e LUBRIZOL, 2015).

A Tabela 6 demonstra os graus de viscosidade estabelecidos pela SAE J300 bem como as especificações que cada grau deve apresentar.

Tabela 6: Classificação SAE J300 para lubrificantes automotivos

Grau de Viscosidade SAE	Viscosidade em baixa temperatura CCS	Viscosidade de bombeamento a baixa temperatura MRV	Viscosidade cinemática a 100°C		Viscosidade a alta temperatura e alta taxa de cisalhamento
	ASTM D5293	ASTM D4684	ASTM D445		Vários métodos
	cP (máximo)	cP (máximo)	cSt (mínimo)	cSt (máximo)	cP (mínimo)
0W	6200 a -35°C	60000 a -40°C	3,8	-	-
5W	6600 a -30°C	60000 a -35°C	3,8	-	-
10W	7000 a -25°C	60000 a -30°C	4,1	-	-
15W	7000 a -20°C	60000 a -25°C	5,6	-	-
20W	9500 a -15°C	60000 a -20°C	5,6	-	-
25W	13000 a -10°C	60000 a -15°C	9,3	-	-
8	-	-	4	6,1	1,7
12	-	-	5	7,1	2
16	-	-	6,1	8,2	2,3
20	-	-	6,9	9,3	2,6
30	-	-	9,3	12,5	2,9
40	-	-	12,5	16,3	3,5 (0W, 5W, 10W)
40	-	-	12,5	16,3	3,7 (outros graus)
50	-	-	16,3	21,9	3,7
60	-	-	21,9	26,1	3,7

Fonte: Lube -Tech (2017)

Espera-se que os óleos lubrificantes para motocicletas consigam garantir a lubrificação de todas as peças do motor, mesmo no caso de partida a frio e antes que o óleo seja aquecido a sua temperatura normal de operação. Desse modo, é fundamental que seja avaliada a viscosidade dos lubrificantes a baixas temperaturas.

Um dos métodos para avaliar as propriedades do óleo lubrificante a baixa temperatura é o *Cold Cranking Simulator (CCS)*, ou Simulador de Partida a Frio. A *Society of Automotive Engineers (SAE)* adotou o CCS como base para classificar a viscosidade dos óleos de motor através da classificação J300. O CCS permite avaliar a operação do óleo em altas taxas de cisalhamento e

em baixas temperaturas, simulando a partida do motor em climas frios (WOLAK e ZAJAÇ, 2018).

Motores de motocicletas, em geral, utilizam lubrificantes multiviscosos 10W-X, 15W-X ou 20W-X, de modo que a viscosidade CCS é especificada a -25, -20 e -15°C, respectivamente.

Outra importante medida de viscosidade associada à capacidade de um óleo lubrificar o motor a baixa temperatura é a viscosidade de bombeamento. A determinação desta propriedade levou a ASTM a desenvolver o Mini-Rotatory Viscometer (MRV) para medir a viscosidade de bombeamento (HENDERSON, 1992).

A viscosidade cinemática a 100°C (KV100) é uma das principais propriedades dos óleos de motor, já que esta é a temperatura aproximada de trabalho que o lubrificante estará submetido em seu uso. Óleos de motocicleta apresentam, em geral, grau de viscosidade SAE 30, 40 ou 50, dependendo do projeto do motor, e precisam estar enquadrados na faixa de viscosidade especificada na SAE J300 para seu respectivo grau. O uso de lubrificantes com viscosidade não enquadrada no especificado pelo fabricante da motocicleta pode causar falhas graves de lubrificação, resultando em danos catastróficos ao motor.

Por fim, a viscosidade a alta temperatura e alta taxa de cisalhamento, do inglês, *high temperature high shear (HTHS) viscosity* é um ensaio que avalia a queda de viscosidade do óleo lubrificante em decorrência do cisalhamento aplicado às moléculas de polímero presentes no MIV. De acordo com a classificação internacional de viscosidade SAE J300, a viscosidade HTHS de óleos multigrado para motor é determinada na temperatura de 150°C e com taxa de cisalhamento de 10^6 s^{-1} . Sabe-se que a viscosidade HTHS de óleos multigrado afetam o desgaste do motor e a eficiência do combustível e os valores mínimos dessa viscosidade encontram-se listados na classificação SAE J300 (ZADOROZHNYAYA *et al.*, 2016).

O óleo lubrificante monoviscoso, ou monogrado, possui apenas especificação de viscosidade a altas temperaturas, que são a viscosidade cinemática (determinada a 100°C) e a viscosidade HTHS (determinada a 150°C). Já o óleo multiviscoso, ou multigrado, também possuem especificações de viscosidade a baixas temperaturas, que são as viscosidades CCS e MRV.

No presente trabalho, foram avaliados lubrificantes multigrado, de viscosidade 10W-30. Ou seja, nesse caso, o óleo deve atender tanto as especificações do grau 10W, quanto do grau 30 da SAE J300.

3.2.4. Índice de Viscosidade (IV)

A viscosidade é uma propriedade fortemente dependente da temperatura. Quando aquecidos, os lubrificantes usualmente tornam-se mais fluidos, ou seja, manifestam uma menor resistência ao escoamento, ao passo que, quando resfriados, o contrário é observado e ele torna-se mais viscoso.

Para quantificar a intensidade da variação de viscosidade de um lubrificante em função da temperatura, estabeleceu-se o índice de viscosidade (IV), que é um número arbitrário calculado a partir de valores de viscosidade obtidos em duas temperaturas consideravelmente distantes. Óleos com alto valor de IV apresentam quedas de viscosidade moderadas quando aquecidos, enquanto óleos com baixo IV manifestam intensa redução de viscosidade quando submetidos à altas temperaturas. Essa variação de viscosidade em função da temperatura está fortemente relacionada à natureza do petróleo de origem do lubrificante, bem como do uso de aditivos melhoradores do índice de viscosidade. Como exemplo da relação com os óleos básicos, o índice de viscosidade de lubrificantes com base parafínica em geral é maior que os de base naftênica (MOHAMAD *et al.*, 2012).

Para óleos de motocicletas, não há valores especificados de índice de viscosidade a serem atendidos. Contudo, para lubrificantes multigrado, ou seja, que precisam atender especificações viscosimétricas tanto a baixas temperaturas quanto a altas temperaturas, acaba se fazendo necessário um elevado índice de viscosidade.

Mohamad *et al.* (2012) avaliaram o uso de diferentes polímeros como aditivos melhoradores do índice de viscosidade (MIV). Foram preparados seis copolímeros à base de poliácridatos, com cadeias de 8 a 16 carbonos e misturados em diferentes taxas de diluição em óleo básico de viscosidade SAE 30 (0%, 1%, 1,5%, 2%, 2,5% e 3% em massa). O estudo demonstrou que a efetividade dos aditivos sobre o índice de viscosidade melhorou conforme

aumentou-se suas concentrações no óleo básico. Isso é explicado devido ao mecanismo de ação dos polímeros do MIV, que se expandem com o aumento de temperatura, contrabalanceando a queda de viscosidade do óleo básico. Este processo é totalmente reversível, de modo que em baixas temperaturas, os polímeros do MIV encontram-se contraídos, mantendo a viscosidade do lubrificante razoavelmente estável em amplas faixas de temperatura. Além disso, demonstrou-se que o efeito foi mais pronunciado conforme aumenta-se ou a massa molecular do copolímero (de 140.000 a 236.000) ou o tamanho da cadeia de alquila (C8 até C12). Isso pode ser atribuído ao tamanho das micelas de polímero que aumentam com o maior comprimento das cadeias de alquila.

3.2.5. Estabilidade ao cisalhamento

Aditivos modificadores de viscosidade (MV), também chamados de melhoradores de índice de viscosidade (MIV), são polímeros utilizados na formulação dos lubrificantes que permitem a redução na variação da viscosidade do óleo em função da temperatura. A estabilidade ao cisalhamento destes polímeros é um importante critério na determinação de sua aplicabilidade como MIV em uma formulação de lubrificante e possui forte influência na capacidade de um óleo de motor manter seu valor de viscosidade sob as condições de cisalhamento experimentadas durante seu uso (GHOSH, 1998). No ensaio de estabilidade ao cisalhamento, promove-se a degradação mecânica dos polímeros presentes no MIV, causando uma queda na viscosidade da amostra.

Watanabe (2010) avaliou óleos para motocicletas multigrav 5W-20, 10W-20, 10W-30, 10W-40 e monograv 30, com diferentes composições de óleos básicos e polímero MIV, para avaliar a influência destes constituintes na estabilidade ao cisalhamento. O estudo demonstrou que os óleos formulados com óleos básicos de maior índice de viscosidade apresentaram menor queda de viscosidade que os óleos formulados com básicos de menor índice de viscosidade. Isso foi explicado pela menor necessidade de aditivo MIV nos óleos com básicos que já possuem índice de viscosidade elevado. Nesses casos, o lubrificante tem menor quantidade de polímeros em sua composição e apresenta melhor estabilidade ao cisalhamento.

3.2.6. Densidade

Indica a massa de um determinado volume de óleo lubrificante em uma temperatura específica. É uma importante propriedade para identificar se houve contaminação ou deterioração de um lubrificante (CANCHUMANI, 2013).

Hoang e Pham (2018), compararam o uso óleo diesel e óleo vegetal de jatrofa como combustíveis em motor diesel. Um dos parâmetros avaliados, foi a degradação promovida no lubrificante do motor, através das medições de densidade, viscosidade cinemática e teor de elementos do lubrificante a cada 25 horas de teste.

O estudo demonstrou que, para ambos os combustíveis avaliados, ocorreu um aumento na densidade do óleo lubrificante com o passar do tempo. Após 150 horas de teste, houve aumento de 3,38% e 2,33% na densidade do lubrificante com o uso de óleo diesel e de óleo vegetal, respectivamente. As principais causas apontadas para esse aumento de densidade foram a geração de limalhas metálicas a partir do desgaste e fricção, a dissolução de depósitos e resíduos do motor no lubrificante, o aumento na umidade e a oxidação de componentes do lubrificante.

3.2.7. Ponto de fluidez

Outra importante propriedade a baixa temperatura dos óleos lubrificantes é o ponto de fluidez. O ponto de fluidez pode ser definido como a temperatura mínima de um líquido, particularmente o óleo lubrificante, abaixo da qual o líquido deixa de fluir. Junto com a capacidade de bombeamento é um fator significativo na partida de equipamentos em clima frio (SALIH, 2013).

Em estudo realizado por Chen *et al.* (2010), avaliou-se a influência do uso de aditivos abaixadores de ponto de fluidez (PPD) na precipitação de ceras em óleos parafínicos a baixa temperatura. Este trabalho estudou o efeito do PPD na precipitação da cera do ponto de vista da termodinâmica e cristalografia e demonstrou que, após a adição de PPD, a estrutura das misturas de parafinas é parcialmente transformada de ortorrômbica para forma hexagonal. Como resultado, a adição de PPD na cera desempenha o papel de

diminuir o ponto de fusão da cera, deslocando a precipitação para temperaturas mais baixas.

3.2.8. Ponto de Fulgor

O ponto de fulgor de um óleo é a menor temperatura na qual os vapores despreendidos pelo mesmo, em presença do ar, inflamam-se momentaneamente ao serem submetidos a uma chama, formando um lampejo. Há diversos métodos para realizar este ensaio em laboratório e os resultados obtidos variam consideravelmente de acordo com a metodologia, motivo por que é fundamental associar o valor encontrado ao processo empregado.

Os métodos mais usados são o Cleveland, efetuado em vaso aberto, e o Pensky-Martens, que utiliza o sistema de contenção dos vapores em vaso fechado. O conhecimento do ponto de fulgor permite avaliar as temperaturas de serviços que um óleo lubrificante pode suportar com absoluta segurança. Óleos lubrificantes com ponto de fulgor inferior a 150°C não devem ser empregados para fins de lubrificação (CARRETEIRO E BELMIRO, 2006).

3.2.9. Perda por evaporação

A volatilidade de óleos lubrificantes de motor é uma medida da resistência do óleo em evaporar sob condições operacionais de alta temperatura. É uma propriedade importante para ser avaliada em lubrificantes de motor, pois a perda de componentes de menor peso molecular pode impactar significativamente na viscosidade do óleo e conseqüentemente, em suas propriedades (RUDNICK *et al.*, 2006). No ensaio em laboratório, as condições de temperatura, pressão e tempo de duração do teste são pré-estabelecidas e determina-se o percentual de perda mássica do óleo ao longo do ensaio.

3.2.10. Formação de Espuma

A formação de espuma em óleos lubrificantes pode causar sérios problemas em sistemas de lubrificação de turbinas, engrenagens, bombas

hidráulicas, motores, entre outros. A ocorrência de lubrificação inadequada, cavitação e perda de lubrificante por transbordamento devido à formação de espuma podem levar a falhas mecânicas sérias nesses sistemas (BOGATU, 2014).

3.2.11. Metais de aditivação

Diversos elementos e seus compostos são utilizados como aditivos em óleos lubrificantes com o objetivo de garantir benefícios de performance. A Tabela 7 abaixo associa cada elemento e composto adicionado com suas respectivas funções.

Tabela 7 - Elementos aditivos e suas funções no lubrificante

Elemento	Composto	Performance
Bário	Sulfonatos e fenatos	Detergentes, inibidores de corrosão, inibidores de ferrugem, lubrificante para transmissão automática
Boro	Boratos inorgânicos, ésteres boratos, dispersantes e detergentes boratados	Agente anti-desgaste, anti-oxidante, desodorizante, óleos de corte
Cálcio	Sulfonatos e fenatos	Detergentes e diespersantes
Cobre	Ditiofosfatos de cobre	Agente anti-desgaste e anti-oxidante
Magnésio	Sulfonatos e fenatos	Detergentes
Molibdênio	Dialquiltiofosfatos, dialquilditiocarbamatos e outros compostos de molibdênio	Modificador de atrito
Fósforo	Ditiofosfatos, fosfatos e fosfitos	Agentes antiferrugem, aditivos de extrema pressão e antidesgaste
Enxofre	Óleos básicos, sulfonatos, tiofosfatos, polissulfetos e outros compostos sulfurados	Detergentes, aditivos de extrema pressão, anti-desgaste

Zinco	Dialquiltiofosfatos, ditiocarbamatos, fenolatos e carboxilatos	Anti-oxidante, inibitor de corrosão, anti-desgaste, detergente, lubrificantes para engrenagens hipóides, óleos para motores de pistão de aeronaves, óleos, transmissão automática, óleos para motores diesel ferroviários e lubrificantes para freios
-------	--	---

Fonte: ASTM

A quantificação dos metais é, portanto, uma importante ferramenta no controle de qualidade da indústria de lubrificantes que permite certificar que houve a correta aditivação do óleo. As principais técnicas utilizadas na indústria para determinação do teor de elementos em óleos lubrificantes são a Espectroscopia de Emissão Atômica de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-AES), Espectroscopia de Fluorescência de Raios X e a Espectroscopia de Absorção Atômica (AAS).

A quantificação dos metais presentes nos lubrificantes também tem importância para a manutenção do sistema de controle de emissões dos motores. Esse sistema é composto por catalisadores que apresentaram diversos problemas de desativação, decorrentes das impurezas presentes nos gases de exaustão, tais como óxidos de enxofre e chumbo tetraetila provenientes da gasolina, e fósforo e zinco oriundos do óleo lubrificante (RANGEL e CARVALHO, 2003).

3.3. Mercado brasileiro de lubrificantes

O mercado brasileiro de lubrificantes teve em 2020 um difícil ano devido à pandemia de Covid-19 que afetou diversas cadeias produtivas pelo mundo. Sobretudo no mês de abril deste ano, se observou uma queda de cerca de 47,1% de volume comercializado comparado ao mesmo mês de 2019. Porém, bons sinais de recuperação podem ser notados a partir do segundo semestre de 2020, fechando o ano com apenas 1,0% de queda e continuando em 2021 esse processo, com volumes mensais acima da média histórica, acumulando vendas de 736.688 m³. Conforme demonstrado na Figura 15, só no primeiro

semestre de 2021 houve um aumento de volume comercializado de 24,7%, com relação ao ano anterior. (PORTAL LUBES, 2021).

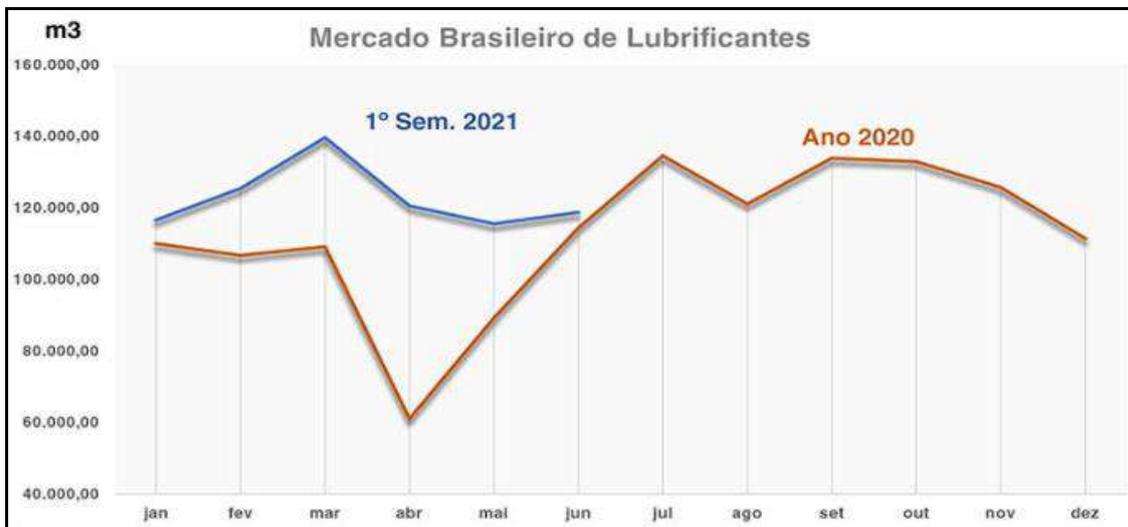


Gráfico 1: Mercado Brasileiro de Lubrificantes 2020 e 2021-01

Fonte: Portal Lubes (2021)

De acordo com dados da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), os lubrificantes para motores ciclo Otto, segmento em que os lubrificantes para motocicletas estão inseridos, representam o principal segmento de lubrificantes em volume comercializado.

Em 2021, essa linha de produtos foi responsável por 28,02% do volume de vendas de lubrificantes, seguido pelos óleos para transmissões e sistemas hidráulicos, que representam 24,10% do volume total. Os lubrificantes para motores ciclo Diesel completam a lista dos principais segmentos de lubrificantes, com 23,73%. A figura 16 demonstra a estratificação do mercado de lubrificantes por segmento de produtos no ano de 2021.

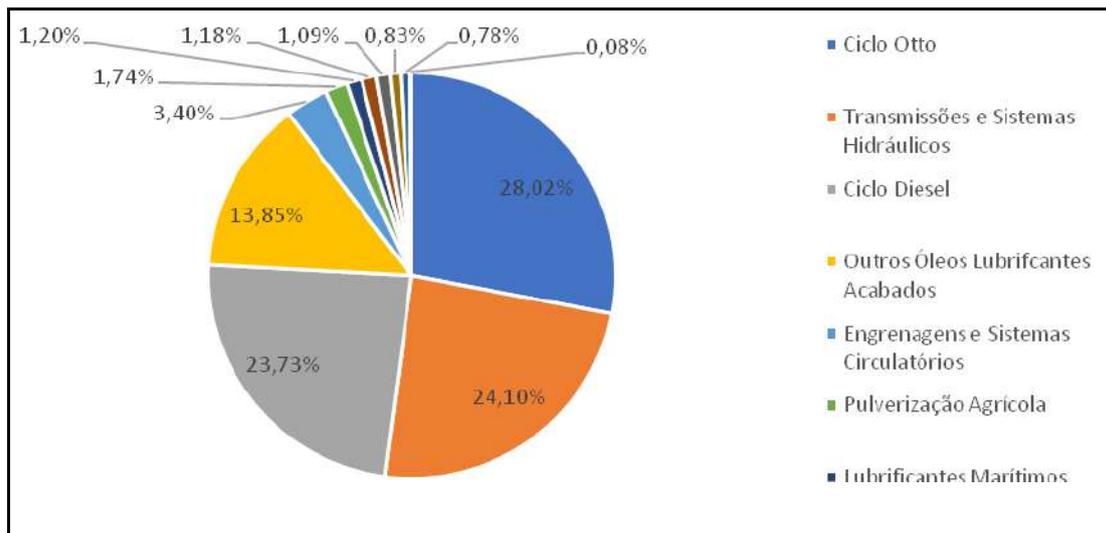


Gráfico 2: Mercado Brasileiro de Lubrificantes por segmento de produtos – 2021

Fonte: ANP (2022)

Com relação à participação de mercado das empresas produtoras de lubrificantes no Brasil, em 2021 (Gráfico 3), a Iconic, fruto de fusão da Chevron Lubrificantes com a Ipiranga Lubrificantes, liderou o mercado, com 18,1% do volume vendido, seguido pela Cosan Lubrificantes, com 14,23%. Em terceiro lugar aparece a Vibra Energia (antiga BR Distribuidora) com 14,07%. Em terceiro lugar aparece a Vibra Energia (antiga BR Distribuidora) com 14,07%. Seguindo as líderes, aparecem a Shell com 11,26% e a Petronas, completando a lista das 5 principais produtoras com 8,63%. Em seguida, vemos YPF, Energis 8, Quaker, Total e Castrol e completando o grupo das 10 maiores empresas, em volume de vendas (ANP, 2022).

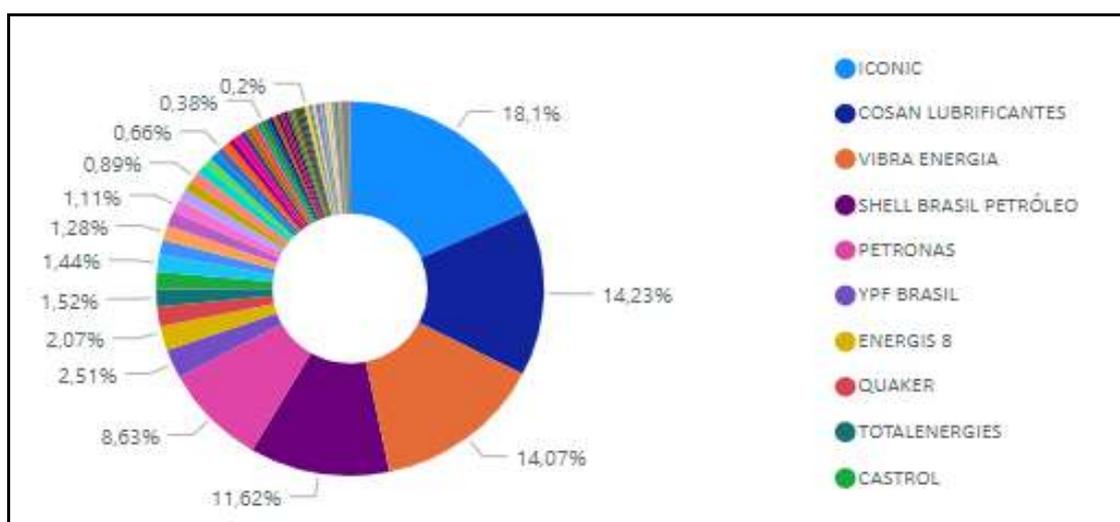


Gráfico 3: Participação de Mercado Brasileiro de Lubrificantes – 2021

Fonte: ANP, 2022

Analisando especificamente a produção de lubrificantes utilizados em motores ciclo Otto (Gráfico 4), como no caso dos lubrificantes para motocicletas, a Iconic ganha ainda mais destaque, sendo responsável por 21,75% do volume comercializado. Em seguida aparecem a Cosan Lubrificantes e a Vibra Energia com 17,33% e 13,07% respectivamente. Completando a lista das 5 principais produtoras estão a Petronas, com 9,35% e a Shell, com 6,73%.

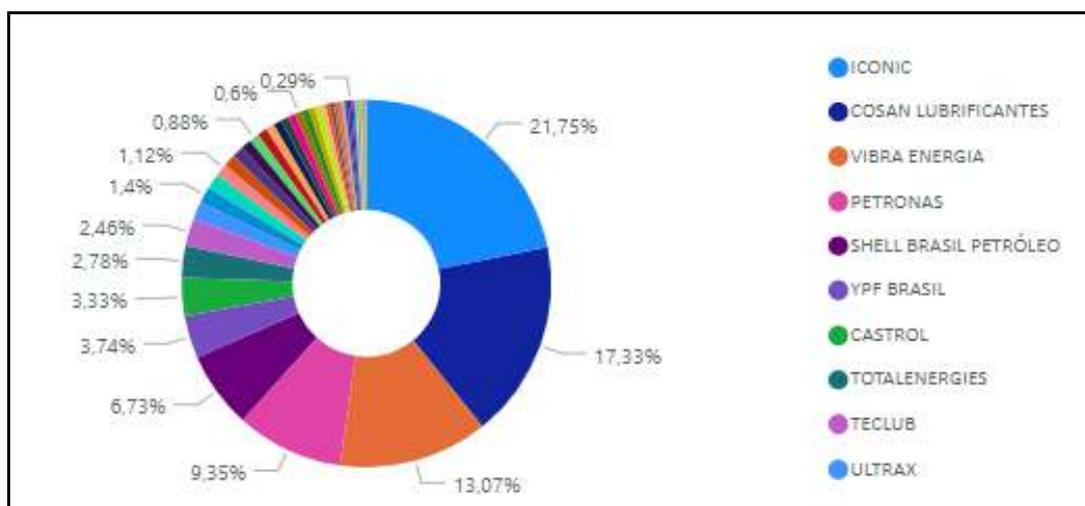


Gráfico 4: Participação de Mercado Brasileiro de Lubrificantes para Motores Ciclo Otto – 2021

Fonte: ANP, 2022

4. METODOLOGIA

4.1. Aquisição dos produtos

Para o presente trabalho, foram selecionados 12 óleos lubrificantes para motocicletas de viscosidade SAE 10W-30 das marcas de maior relevância no mercado brasileiro. Os produtos foram adquiridos via comércio eletrônico de pontos de venda tais como lojas de autopeças, oficinas mecânicas, distribuidores e atacadistas. Os lubrificantes escolhidos foram:

- Havoline 4t Semissintético Sae 10w-30
- Ipiranga Moto Performance 10w-30 SI
- Ipiranga Scooter Performance 10w-30 SI
- Lubrax Indicc 10w-30
- Mobil Super Moto 10w-30 Authentic
- Mobil Super Moto 10w-30 Mx Semissintético
- Mobil Super Moto Scooter 10w-30
- Motul 5100 4t 10w-30
- Motul Scooter Power 4t 10w-30 Mb
- Petronas Sprinta F500 10w-30
- Shell Advance Ax7 10w-30
- Shell Advance Ax7 10w-30 Scooter

Os níveis de performance JASO, API e de viscosidade SAE J300 informados no rótulo dos 12 produtos, encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8: Níveis de performance JASO, API e de viscosidade SAE J300 dos 12 produtos avaliados

Produto	Grau de viscosidade SAE J300	Nível API	Nível JASO
Havoline 4t Semissintético Sae 10w-30	10W-30	SL	MA2
Ipiranga Moto Performance 10w-30 SL	10W-30	SL	MA2
Ipiranga Scooter Performance 10w-30 SL	10W-30	SL	MB
Lubrax Indicc 10w-30	10W-30	SL	MA
Mobil Super Moto 10w-30 Authentic	10W-30	SL	MA2
Móbil Super Moto 10w-30 Mx Semissintético	10W-30	SL	MA2
Mobil Super Moto Scooter 10w-30	10W-30	SL	MB
Motul 5100 4t 10w30	10W-30	SM	MA2
Motul Scooter Power 4t 10w-30 Mb	10W-30	SN	MB
Petronas Sprinta F500 10w-30	10W-30	SL	MA2
Shell Advance Ax7 10w-30	10W-30	SM	MA2
Shell Advance Ax7 10w-30 Scooter	10W-30	SM	MA2

Fonte: Elaboração própria de acordo com as informações fornecidas no rótulo dos produtos

De modo a preservar a identidade das marcas nas discussões sobre os seus respectivos desempenhos nas características avaliadas, os produtos serão identificados aleatoriamente com a numeração de 1 a 12.

4.2. Análises físico-químicas

Todas as análises físico-químicas foram realizadas no laboratório da Gerência de Desenvolvimento Tecnológico de Lubrificantes (DTEC) da fábrica de lubrificantes da Vibra Energia, localizada em Duque de Caxias, RJ.

As análises realizadas neste trabalho foram: densidade (ASTM D4052), viscosidade cinemática a 40°C e 100°C (ASTM D445), índice de viscosidade (ASTM D2270), CCS a -25°C (ASTM D5293), HTHS a 150°C (ASTM D4683), ponto de fulgor *Cleveland Open Cup (COC)* (ASTM D92), formação de espuma (ASTM D892), perda por evaporação (ASTM D5800), ponto de fluidez (ASTM D7346), determinação de elementos por Espectrofotometria de Emissão de Plasma (ASTM D4951) e Estabilidade ao Cisalhamento (ASTM D6278).

Quando aplicável, os resultados obtidos foram confrontados com os limites de especificação estabelecidos como requisito de desempenho para o óleo. As Tabelas 9, 10 e 11 relacionam os ensaios realizados com as especificações do grau de viscosidade 10W-30, da JASO T903 e dos níveis API SL, SM e SN, respectivamente.

Tabela 9: Limites de especificação de viscosidade para lubrificantes grau SAE 10W-30 conforme SAE J300

Propriedades viscosimétricas de lubrificantes grau SAE 10W-30	
Viscosidade de partida a baixa temperatura (CCS) – ASTM D5293	Abaixo de 7000 cP a -25°C
Viscosidade cinemática a 100°C – ASTM D445	Acima de 9,3 cSt e abaixo de 12,5 cSt
Viscosidade a Alta Temperatura e Alta Taxa de Cisalhamento a 150°C (HTHS) – ASTM D4683	Acima de 2,9 cP

Fonte: Elaboração própria

Tabela 10: Limites de especificação para lubrificantes de motocicletas conforme JASO T903

Propriedades físico-químicas - JASO T903		
Teor de fósforo – ASTM D4951	Acima de 0,08 % e abaixo de 0,12 % em massa	
Perda por evaporação – ASTM D5800	Abaixo de 20% em massa	
Formação de espuma (tendência/estabilidade) – ASTM D892	Sequência I	10 mL/0 mL
	Sequência II	50 mL/0 mL
	Sequência III	10 mL/0 mL
Estabilidade ao cisalhamento (viscosidade cinemática a 100°C após 30 ciclos) – ASTM D6278	Acima de 9,0 cSt para óleos 10W-30	
Viscosidade HTHS – ASTM D4683	Acima de 2,9 cP para óleos 10W-30	

Fonte: Elaboração própria

Tabela 11: Limites de especificação para lubrificantes de nível API SL, SM e SN

Propriedades físico-químicas - Níveis API SL, SM e SN		
Perda por evaporação – ASTM D5800		Abaixo de 15% em massa
Formação de espuma (tendência/estabilidade) – ASTM D892	Sequência I	10 mL/0 mL
	Sequência II	50 mL/0 mL
	Sequência III	10 mL/0 mL
Estabilidade ao cisalhamento (viscosidade cinemática a 100°C após 30 ciclos) – ASTM D6278		Acima de 8,5 cSt para óleos 10W-30

Fonte: Elaboração própria

4.2.1. Densidade – ASTM D4052

O densímetro utilizado para os testes foi o modelo Rudolph Research Analytical DDM 2911, seguindo a metodologia descrita na norma ASTM D4052.



Figura 14: Equipamento Rudolph Research Analytical DDM 2911 utilizado nos ensaios de densidade

Fonte: Rudolph Research Analytical (2022)

Um pequeno volume de amostra (aproximadamente 2 ml) foi introduzido no densímetro digital e ocupou um tubo de borossilicato que foi estimulado a vibrar a uma frequência característica. A temperatura da amostra foi controlada por um termostato interno e o instrumento foi capaz de manter a temperatura estabelecida para o teste. A frequência de vibração do tubo variou de acordo com a densidade da amostra. A partir da precisa determinação da frequência de vibração e dos dados de calibração do equipamento, determinou-se a densidade da amostra.

4.2.2. Viscosidade Cinemática a 100°C e 40°C – ASTM D445

O viscosímetro utilizado nos ensaios foi o modelo HVM472 do fabricante Herzog, que realizou as medições e cálculos, além da limpeza e secagem dos tubos, de maneira automática, seguindo a metodologia descrita na norma ASTM D445.



Figura 15: Viscosímetro Herzog HVM472 utilizado nos ensaios de viscosidade cinemática a 100°C e 40°C

Fonte: PAC, 2022

O ensaio consistiu na medição do tempo que um volume fixo levou para escoar por um capilar, sob uma determinada temperatura controlada, entre duas marcas ou sensores existentes em um tubo. O valor da viscosidade cinemática é calculado pelo produto do tempo medido pela constante de calibração do viscosímetro.

4.2.3. Índice de Viscosidade – ASTM D2270

O cálculo de índice de viscosidade foi obtido automaticamente, seguindo a metodologia descrita na norma ASTM D2270, através da análise das viscosidades cinemáticas a 40°C e a 100°C da amostra, obtidas e tratadas pelo

software do equipamento HVM472, se utilizando da fórmula matemática a seguir:

$$IV = \frac{(L - U)}{(L - H)} * 100$$

Onde:

L = Valor tabelado de viscosidade cinemática a 40°C de um óleo de índice de viscosidade 0 com mesma viscosidade cinemática a 100°C do óleo que se está determinando o IV.

H = Valor tabelado de viscosidade cinemática a 40°C de um óleo de índice de viscosidade 100 com a mesma viscosidade cinemática do óleo que se está determinando o IV.

U = Viscosidade cinemática a 40°C do óleo que se está determinando o IV.

Para isso, as amostras foram identificadas de maneira idêntica no equipamento.

4.2.4. Viscosidade Aparente a -25°C usando *Cold-Cranking Simulator (CCS)* – ASTM D5293

O equipamento utilizado para os testes foi o Cannon CCS 2100, seguindo a metodologia descrita na norma ASTM D5293



Figura 16: Equipamento Cannon CCS 2100 utilizado nos ensaios de viscosidade CCS a -25°C

Fonte: Cannon Instrument Company (2022)

Neste ensaio, um motor elétrico acionou um rotor que estava firmemente instalado num estator. Uma pequena quantidade de óleo preencheu o espaço entre o rotor e estator, mantido à baixa temperatura. A temperatura do teste foi medida próxima à parede interna do estator e foi mantida pelo fluxo regulado de líquido refrigerante. Como a velocidade do rotor é função da viscosidade do óleo, a partir de uma curva de calibração e da velocidade do rotor medida, determinou-se a viscosidade do óleo. O sistema de refrigeração foi necessário para manter a temperatura do líquido refrigerante adequada para a realização do teste.

4.2.5. Viscosidade *High Temperature / High Shear* a 150°C (HTHS) – ASTM D4683

Para realização dos testes, utilizou-se o equipamento HTHS SERIE 2 do fabricante Cannon, seguindo a metodologia descrita na norma ASTM D4683.



Figura 17: Equipamento Cannon HTHS SERIE 2 utilizado nos ensaios de viscosidade HTHS

Fonte: Cannon Instrument Company (2022)

Aproximadamente 10 ml de amostra foi introduzida em uma das células do equipamento através de uma seringa. A amostra foi filtrada por uma tela e, então, aquecida por 15 minutos até atingir a temperatura de 150°C dentro da

célula viscosimétrica. Por fim, a amostra foi impulsionada da célula sob uma determinada pressão através de um tubo estreito de saída. Um cronômetro digital registrou a duração da execução do teste. A partir dos valores de tempo de teste e da pressão utilizada no ensaio, realizou-se o cálculo da viscosidade através do *software* de análise instalado no computador.

4.2.6. Ponto de Fulgor *Cleveland Open Cup (COC)* – ASTM D92

O equipamento utilizado para os testes foi ACO-T602 do fabricante Tanaka, seguindo a metodologia descrita na norma ASTM D92.



Figura 18: Equipamento Tanaka ACO-T602 utilizado para determinação do Ponto de Fulgor

Fonte: Tanaka Scientific (2022)

Aproximadamente 70 ml de amostra foi adicionada à cuba de ensaio. A temperatura da amostra foi aumentada rapidamente no início do teste, e, ao se aproximar do valor esperado previamente programado, o aquecimento seguiu com uma taxa mais lenta.

Em intervalos de tempo especificados, uma chama de ensaio foi passada automaticamente sobre a cuba. O ponto de fulgor é a menor temperatura na qual a aplicação da chama de ensaio causa ignição dos vapores da amostra que se encontram acima da superfície do óleo.

4.2.7. Formação de Espuma – ASTM D892

O equipamento utilizado para o ensaio foi o Tannas Foam Air Bath, seguindo a metodologia descrita na norma ASTM D892.



Figura 19: Equipamento Tannas Foam Aie Bath utilizado para o ensaio de formação de espuma

Fonte: Tannas Co. & King Refrigeration, Inc. (2022)

Neste teste, foram realizados três ensaios, chamados de sequência I, sequência II e sequência III, que avaliaram tanto a tendência do lubrificante em formar espuma quanto a estabilidade da espuma formada.

Na sequência I, uma alíquota de amostra foi mantida em uma proveta em um banho a $24 \pm 0,5$ °C, borbulhada com ar a uma taxa constante de 94 ± 5 mL/min por 5 minutos e, em seguida, deixada em repouso por 10 minutos.

Na sequência II, uma outra alíquota de amostra foi mantida em uma proveta em um banho de $93,5 \pm 0,5$ °C. Após atingir a estabilidade da temperatura de teste, a amostra foi borbulhada com ar uma taxa constante de 94 ± 5 mL/min por 5 minutos e deixada em repouso por 10 minutos.

Na sequência III, a mesma alíquota utilizada na sequência II, após o desaparecimento de toda a espuma, foi mantida em repouso em temperatura ambiente até atingir temperatura abaixo de $43,5$ °C. Em seguida, a amostra foi colocada no banho a $24 \pm 0,5$ °C até estabilização da temperatura e borbulhada com ar uma taxa constante de 94 ± 5 mL/min por 5 minutos. Por fim, a amostra foi deixada em repouso por 10 minutos.

Para cada uma das sequências foi obtido um resultado de tendência e um de estabilidade da espuma, onde a tendência é o volume de espuma formada ao fim do borbulhamento de ar, enquanto a estabilidade é o volume de espuma remanescente após os 10 minutos em repouso.

4.2.8. Perda por Evaporação, 1h a 250°C – ASTM D5800

Para o ensaio, utilizou-se o equipamento Noack S2, do fabricante Tannas, seguindo a metodologia descrita na norma ASTM D5800.



Figura 20: Equipamento Tannas Noack S2 utilizado para o ensaio de perda por evaporação

Fonte: Tannas Co. & King Refrigeration, Inc. (2022)

Neste ensaio, $65 \pm 0,2$ g de amostra foram colocados dentro de uma cuba de evaporação previamente pesada. A cuba contendo a amostra foi aquecida a uma temperatura de $250 \pm 0,5^\circ\text{C}$, sob um vácuo constante de 2,0 cm de H₂O por 60 minutos, tempo em que a amostra foi parcialmente evaporada. Ao fim do tempo de teste, deixou-se a cuba resfriando a temperatura ambiente e pesou-se o sistema composto por cuba e massa restante de amostra. O resultado do teste é o percentual de perda mássica da amostra entre o início e o fim do teste.

4.2.9. Ponto de Fluidez – ASTM D7346

O equipamento utilizado foi o MPP 5Gs do fabricante PAC, seguindo a metodologia descrita na norma ASTM D7346.

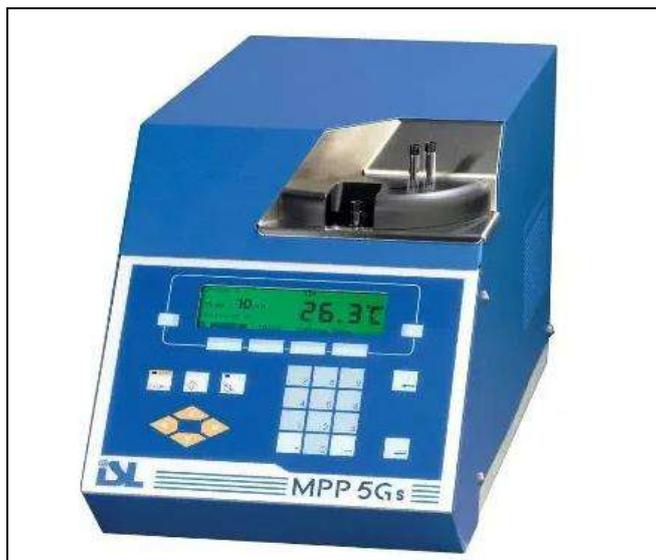


Figura 21: Equipamento MPP 5Gs utilizado para o ensaio de ponto de fluidez.

Fonte: United Spectrometer Technologies (2022)

Com auxílio de uma micropipeta, $0,5 \pm 0,1$ mL de amostra foi inserido em um *vial* de análise. O *vial* contendo a amostra foi tampado e o conjunto foi introduzido no equipamento automático de ponto de fluidez. O equipamento ajustou a câmara de amostra em uma temperatura inicial de 25°C e, uma vez que a temperatura inicial foi alcançada, a câmara de amostra foi resfriada em uma taxa de $1,5 \pm 0,15$ $^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Simultaneamente ao resfriamento, o sistema de medição de pressão foi usado para controlar continuamente o comportamento da amostra, pois enquanto a amostra ainda está fluida, seu movimento compensa parcialmente a redução da pressão de ar na câmara de teste acima da superfície da amostra.

Quando o aparelho detecta determinada redução significativa de pressão no frasco de amostra, indicando a incapacidade de fluir da amostra, causada por formação de estrutura cristalina ou aumento de viscosidade, a temperatura da câmara de amostra é registrada como ponto de interrupção de escoamento e exibida no display digital. A câmara de teste foi, então, reaquecida e a sequência de teste foi finalizada. O resultado informado de ponto de fluidez será o primeiro múltiplo de 3°C acima do ponto de interrupção do escoamento. Por exemplo, caso o ponto de interrupção de escoamento seja -26°C , seu ponto de fluidez será de -24°C .

4.2.10. Determinação de Elementos por Espectrofotometria de Emissão de Plasma– ASTM D4951

O equipamento utilizado foi o SPECTRO ARCOS, seguindo a metodologia descrita na ASTM D4951.



Figura 22: Equipamento ICP-OES Spectro Arcos.

Fonte: Spectro (2022)

Os metais de aditivação foram determinados através de espectrometria de emissão ótica de plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), segundo o método ASTM D9451. Os elementos analisados foram cálcio, zinco, fósforo, magnésio, molibdênio e titânio. O ICP-OES consiste em um sistema de introdução de amostras, uma fonte de excitação, um sistema ótico e um sistema de controle de aquisição de dados.

Neste método, o plasma é obtido a partir de um fluxo de gás argônio que passa por um tubo alimentando uma tocha de quartzo, cujo topo é envolvido por uma bobina de indução eletromagnética. A amostra diluída foi nebulizada e introduzida no plasma em forma de aerossol. Uma descarga de elétrons provoca a ionização do argônio que foi mantido nesse estado enquanto interagia com as linhas de força do campo eletromagnético. A alta energia cinética obtida gera temperaturas na ordem de 10000 K, que promovem a atomização de todos os componentes da amostra. Os átomos livres são excitados e parcialmente ionizados e, ao retornarem ao seu estado fundamental, emitem radiações com comprimentos de onda característicos de cada elemento.

A radiação emitida é encaminhada para um sistema ótico e difratada em comprimentos de onda específicos. A intensidade foi medida usando detectores de radiações específicos e correlacionada com as concentrações correspondentes através da curva de calibração, obtida pela medição prévia de padrões de referência certificados. Após o processamento dos dados obtidos no equipamento, as intensidades de cada elemento são avaliadas pelo software correspondente.

4.2.11. Estabilidade ao Cisalhamento, Usando Bico Injetor de Diesel Europeu – ASTM D6278

O equipamento utilizado para o teste foi Shear Stability Tester da DUCOM, com bico injetor do tipo pintle DN 8 S2 Bosch, seguindo a metodologia descrita na norma ASTM D6278 e utilizando o viscosímetro Herzog HVM472 para a análise de viscosidade cinemática.



Figura 23: Equipamento DUCOM Shear Stability Tester.

Fonte: DUCOM (2022)

Neste método, um determinado volume de lubrificante contendo polímero (no caso, o aditivo melhorador de índice de viscosidade) foi passado através de um bico injetor diesel a uma taxa de cisalhamento que faz com que as moléculas do polímero degradem. A degradação promovida causa a redução na viscosidade cinemática do líquido submetido ao teste. Por fim,

determinou-se a viscosidade cinemática a 100°C da amostra após o ensaio e comparou-se com a viscosidade inicial, previamente determinada. O percentual de perda da viscosidade é uma medida da estabilidade mecânica do cisalhamento do líquido contendo polímero. Para óleos lubrificantes automotivos emprega-se, em geral, 30 ciclos, enquanto para os fluidos hidráulicos são empregados 250 ou até 500 ciclos.

4.3. Análise estatística

Para a análise estatística dos resultados obtidos, em cada teste foi calculada a média amostral dos valores obtidos (\bar{x}) e o desvio padrão amostral (S). A partir desses parâmetros, os gráficos de dispersão dos resultados foram divididos em 8 regiões, de modo a facilitar as análises dos valores obtidos. As regiões são numeradas de I a IV, podendo ser superior ou inferior e suas fronteiras foram definidas por:

- Região I superior: definida acima da linha de \bar{x} e abaixo da linha de $\bar{x} + 1S$
- Região I inferior: definida abaixo da linha de \bar{x} e acima da linha de $\bar{x} - 1S$
- Região II superior: definida acima da linha de $\bar{x} + 1S$ e abaixo da linha de $\bar{x} + 2S$
- Região II inferior: definida abaixo da linha de $\bar{x} - 1S$ e acima da linha de $\bar{x} - 2S$
- Região III superior: definida acima da linha de $\bar{x} + 2S$ e abaixo da linha de $\bar{x} + 3S$
- Região III inferior: definida abaixo da linha de $\bar{x} - 2S$ e acima da linha de $\bar{x} - 3S$
- Região IV superior: definida acima da linha de $\bar{x} + 3S$
- Região IV inferior: definida abaixo da linha de $\bar{x} - 3S$

O gráfico X exemplifica as 8 regiões geradas num gráfico hipotético de resultados.

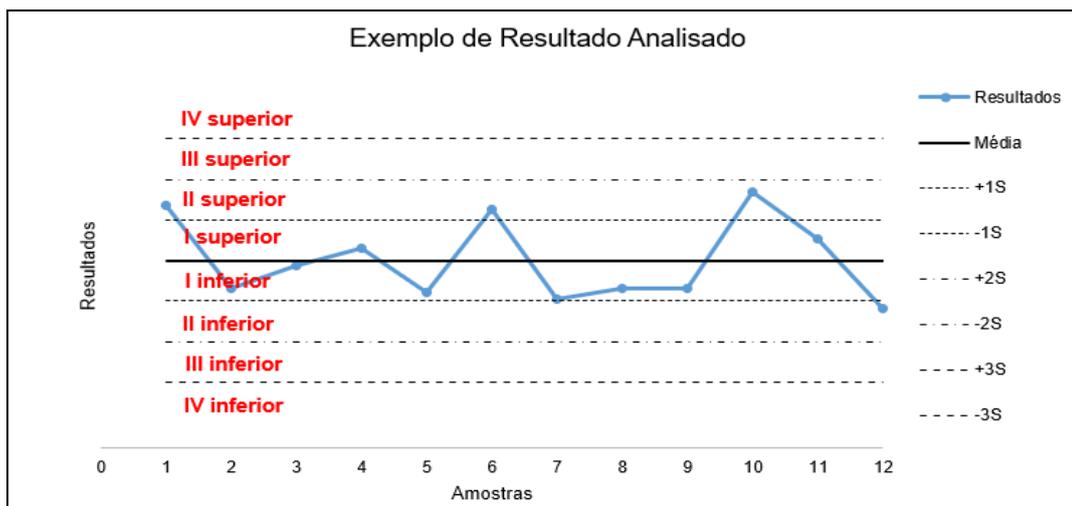


Gráfico 5: Representação das 8 regiões avaliadas

Fonte: Elaboração própria

Também foram calculadas a amplitude dos valores observados para cada propriedade medida e a variação relativa desta amplitude em relação ao valor da média amostral. Estes valores foram utilizados, como forma de uma possível identificação diferenciada da qualidade dos produtos comerciais.

4.4. Análise de embalagens

As análises nas embalagens dos produtos adquiridos foram realizadas no laboratório de Controle de Qualidade de Embalagens (CQE) da fábrica de lubrificantes da Vibra Energia, localizada em Duque de Caxias, RJ.

As características avaliadas foram:

- Volume de conteúdo efetivo
- Massa de frasco vazio com tampa
- Espessura do frasco
- Visor de nível
- Período de validade
- Tempo de prateleira
- Tampa (lacre e selo)

4.5. Análise econômica

A análise econômica baseou-se na busca por correlação entre o preço dos produtos e os resultados obtidos para as propriedades analisadas. Deve-se ressaltar que não houve um amplo estudo estatístico do preço dos 12 produtos no mercado brasileiro e os valores considerados foram simplesmente os seus preços de aquisição para realização deste trabalho.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nas medições experimentais das propriedades físico-químicas dos lubrificantes estudados, bem como a interpretação dos resultados.

5.1. Densidade – ASTM D4052

Os valores de densidade obtidos para as 12 amostras de lubrificantes estudadas estão apresentados no gráfico 6.

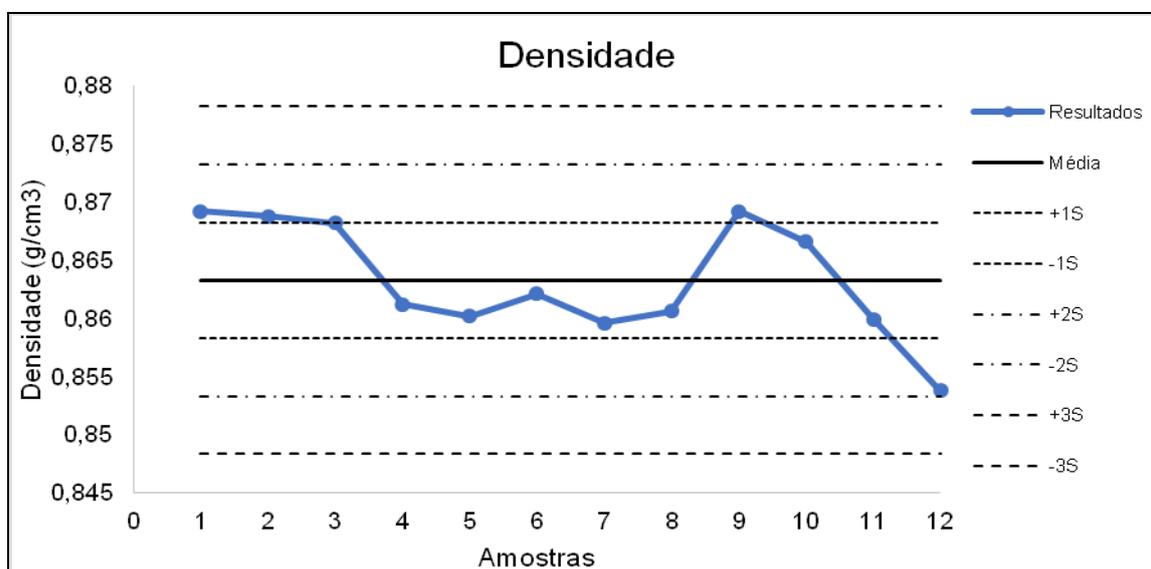


Gráfico 6: Resultados de densidade

Fonte: Elaboração própria

Pode-se observar que a média amostral dos resultados de densidade, para os 12 produtos analisados, apresentou o valor de $0,8633 \text{ g/cm}^3$. O desvio padrão foi de $0,0050 \text{ g/cm}^3$, com amplitude de $0,0154 \text{ g/cm}^3$ e variação relativa de $1,7838\%$. Mostrando em média, baixo desvio entre as amostras.

Apesar disso, dentre os valores obtidos, destaca-se a densidade da amostra 12 que foi o único resultado localizado na região II inferior do gráfico, com densidade marginal na faixa de -2δ .

Na tabela 9 comparou-se as densidades de óleos básicos grupos II com o óleo básico grupo III de viscosidade equivalente. É possível notar que os básicos grupo III apresentam valores de densidade sempre menores que os básicos grupo II. Os dados foram obtidos a partir das fichas de valores típicos

disponíveis no site da Chevron, uma das principais fornecedoras de óleos básicos na indústria lubrificantes.

Tabela 12: Comparação de densidades de óleos básicos grupos II e III

Tipo de óleo básico		Viscosidade @100°C (cSt)	Densidade (kg/l)
Óleo básico aproximadamente 4,3 cSt a 100°C	Grupo II Chevron 100R	4,40	0,8420
	Grupo III Nexbase 3043	4,30	0,8370
Óleo básico aproximadamente 5,1 cSt a 100°C	Grupo II Chevron 150R	5,17	0,8650
	Grupo III Nexbase 3050	5,10	0,8390
Óleo básico aproximadamente 6,0 cSt a 100°C	Grupo II Chevron 220R	6,40	0,8650
	Grupo III Nexbase 3060	5,90	0,8430

Fonte: Chevron Base Oils

A partir da exemplificação acima, notamos que menores valores de densidade em lubrificantes de mesma viscosidade indicam maior teor de óleos básicos mais nobres, como os do grupo III. Como todos os 12 produtos possuem viscosidade SAE 10W-30, é possível deduzir, a partir dos valores de densidade, que a amostra 12 possui um teor de básicos do grupo III superior aos demais produtos.

Não há limites de especificação de densidade para os lubrificantes para motocicletas se enquadrarem. Trata-se, contudo, de uma propriedade físico-química importante no dia a dia das fábricas de lubrificantes que, em diversas operações, precisam converter massa em volume e vice-versa. Além disso a densidade é uma informação que, como visto, está relacionada com a viscosidade cinemática e, combinada a outras propriedades, pode fornecer informações interessantes sobre o lubrificante bem como ajudar a identificar contaminação ou deterioração de um lubrificante conforme demonstrado nos trabalhos de Canchumani, 2013 e Hoang e Pham (2018).

5.2. Viscosidade Cinemática a 100°C e 40°C – ASTM D445

Os valores de viscosidade cinemática obtidos a 100°C e 40°C, para as 12 amostras de lubrificantes estudadas, está apresentado nos gráficos 7 e 8.

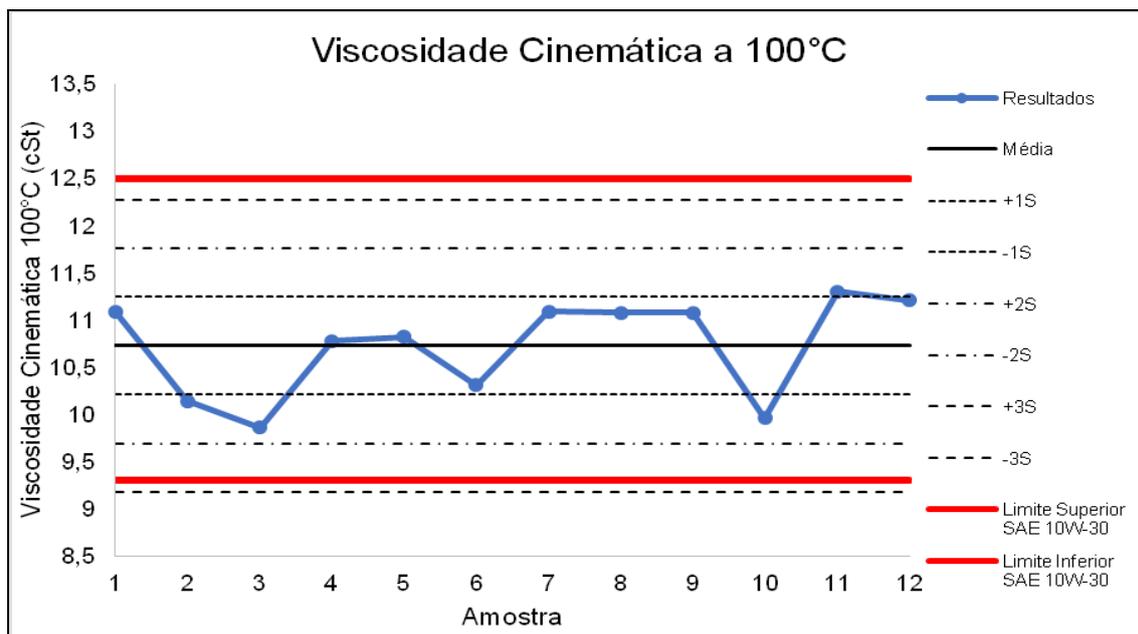


Gráfico 7: Resultados de viscosidade cinemática a 100°C

Fonte: Elaboração própria

Pode-se notar que todos os produtos avaliados apresentaram resultados de viscosidade a 100°C dentro dos limites estabelecidos para o grau 10W-30 da SAE J300, que são 9,30 cSt de limite mínimo e 12,50 cSt de limite máximo. Tais resultados eram esperados, uma vez que a viscosidade cinemática a 100°C é uma das características mais críticas para o bom desempenho do lubrificante. A comercialização de um produto desenquadrado em viscosidade representaria uma grave falha no sistema de qualidade do fabricante, podendo gerar sérios problemas de campo, como quebras de motores dos consumidores finais, o que obviamente não era esperado.

Com relação aos resultados, observa-se que os mesmos variaram de 9,86 cSt, na amostra 3, à 11,30 cSt na amostra 11, com uma amplitude de 1,44 cSt, que representa uma variação relativa de 13,42%. A média amostral foi de 10,73 cSt, com desvio padrão de 0,52 cSt, que representa um coeficiente de variação de 4,85% entre as amostras analisadas.

Os óleos 11 e 12 apresentam os maiores valores de viscosidade a 100°C indicando a formação de um filme lubrificante mais espesso, mesmo nessa alta temperatura, podendo garantir uma melhor proteção das peças quanto ao atrito, quando comparado com os demais. Enquanto os óleos 2, 3 e

10 apresentam os mais baixos valores de viscosidade, sugerindo que os filmes de lubrificação formados devem ser mais finos comparados aos lubrificantes testados, conforme (KANIA, 2015).

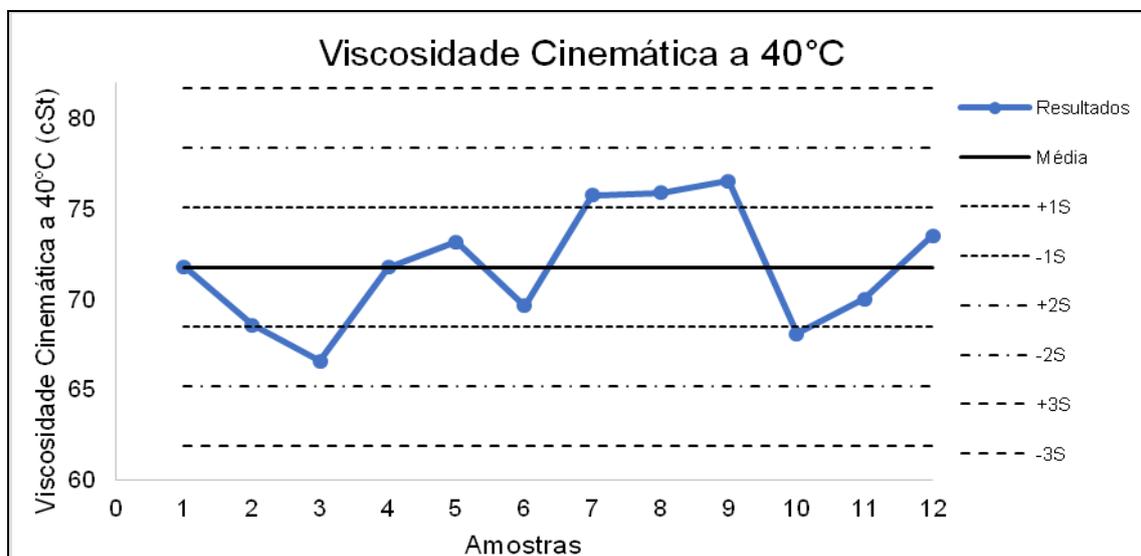


Gráfico 8: Resultados de viscosidade cinemática a 40°C

Fonte: Elaboração própria

Não há limites de viscosidade a 40°C especificados pela classificação SAE J300. Na prática, essa análise é realizada em lubrificantes automotivos para que, juntamente com a viscosidade cinemática a 100°C, seja calculado o índice de viscosidade.

Analisando os resultados, é possível notar que os valores da viscosidade a 40°C estão dispersos em uma faixa de viscosidades bem mais ampla que a observada a 100°C, indo de 66,60 cSt a 76,56 cSt, com uma amplitude de 9,96 cSt, praticamente dez vezes a observada a 100°C, porém este valor representa uma variação relativa de 13,87% similar a variação observada na temperatura de 100°C. A média amostral foi de 71,79 cSt, com desvio padrão de 3,29 cSt, que representa um coeficiente de variação de 4,58% entre as amostras analisadas.

5.3. Índice de Viscosidade – ASTM D2270

Os valores de índice de viscosidade obtidos para as 12 amostras de lubrificantes estudadas estão apresentados no gráfico 9.

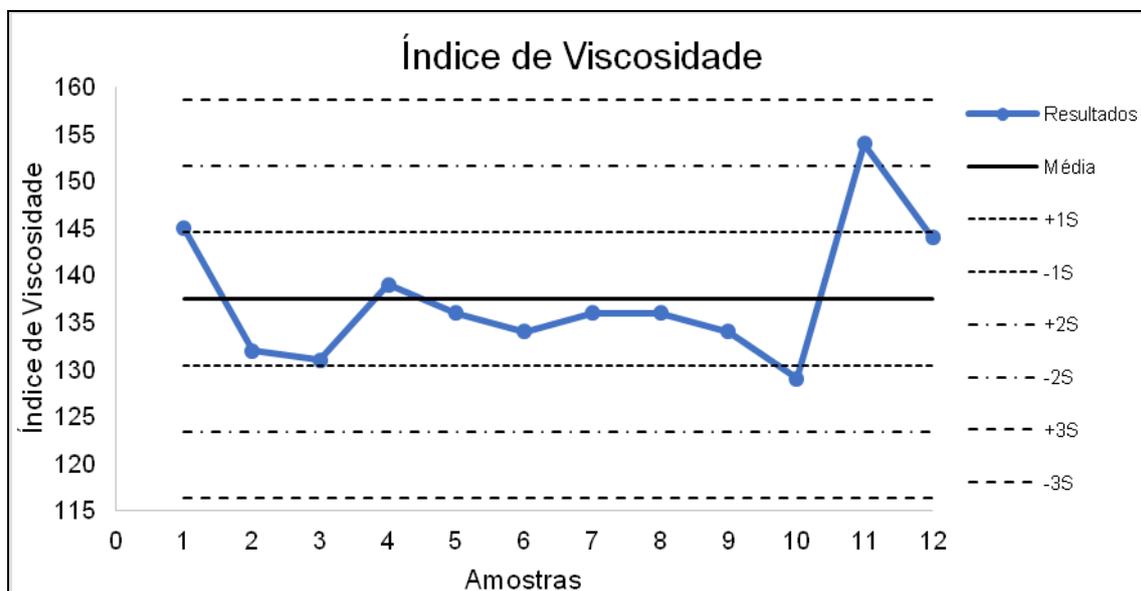


Gráfico 9: Resultados de índice de viscosidade

Fonte: Elaboração própria

A média amostral dos resultados de índice de viscosidade foi de 138 com desvio padrão de 7, com uma amplitude de 25 e uma variação relativa de 18%.

Como discutido anteriormente, o índice de viscosidade é uma medida de quanto a viscosidade do óleo é estável frente a variações de temperatura, garantindo que o óleo tenha uma boa aplicabilidade em ampla faixa de temperaturas. Logo, é possível notar que a amostra 11 destaca-se como a de maior índice de viscosidade, sendo a única localizada na região III superior. Essa observação faz sentido, considerando que o resultado de viscosidade a 100°C da amostra 11 foi o maior entre as amostras avaliadas e que, entretanto, a viscosidade a 40°C esteve abaixo da média. Assim, essa amostra 11 apresenta o óleo mais estável frente a variações de temperatura, seguido pelas amostras 1 e 12. Isso significa que os demais óleos sofrem um aumento mais intenso de viscosidade com a queda de temperatura de 100 para 40°C, com destaque para a amostra 10.

A partir dos resultados obtidos, é possível buscar uma correlação entre o índice de viscosidade e o tipo de óleo básico utilizado em cada produto. Conforme apresentado anteriormente, óleos básicos minerais, como os

básicos, grupo I e grupo II, apresentam índice de viscosidade entre 80 e 120, enquanto os óleos básicos sintéticos grupo III apresentam índice de viscosidade igual ou superior a 120. Dessa maneira, quanto maior for o teor de óleos básicos sintéticos em um lubrificante, é esperado que maior seja o seu índice de viscosidade. Desse modo, pode-se inferir que o produto 11 seja o que apresenta o maior teor de óleos básicos sintéticos em sua composição, seguido pelos produtos 1 e 12.

A aditivação com melhoradores de índice de viscosidade é um fator que também afeta diretamente esta propriedade, uma vez que a taxa de utilização do MIV na formulação do lubrificante, bem como o tipo de polímero utilizado são capazes de modificar sensivelmente o comportamento da viscosidade frente às mudanças de temperatura. Sendo assim, outra possibilidade de justificativa para os maiores resultados de índice de viscosidade observados nos produtos citados, seria a utilização de maior teor de MIV.

Deve-se ter em mente, contudo, que a maior utilização de MIV na composição do lubrificante deve ser feita de maneira criteriosa no desenvolvimento tecnológico de lubrificantes, já que, conforme discutido anteriormente, o aumento na presença desses polímeros irá inevitavelmente prejudicar a estabilidade da viscosidade do produto frente ao cisalhamento.

5.4. Viscosidade Aparente a -25°C usando *Cold-Cranking Simulator (CCS)* – ASTM D5293

Os valores de viscosidade aparente a -25°C obtidos para as 12 amostras de lubrificantes estudadas esta apresentado no gráfico 10.

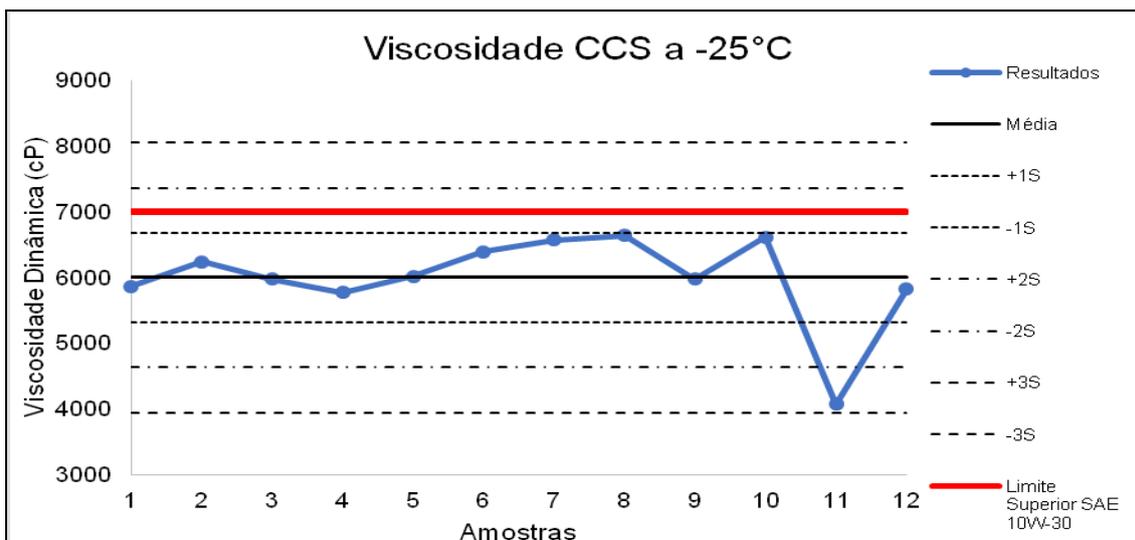


Gráfico 10: Resultados de viscosidade aparente a -25°C usando CCS

Fonte: Elaboração própria

Todos os óleos avaliados apresentaram resultados de viscosidade CCS a -25°C abaixo do limite máximo de 7000 cP definido pela SAE J300 para lubrificantes 10W-30. A média de resultados foi de 5998 cP, com desvio padrão de 682 cP, com uma amplitude de 2564 cP e uma variação relativa de 43% entre as amostras, bastante significativo.

É possível notar que a amostra 11 apresenta um resultado muito abaixo das demais, com 4078 cP, se aproximando da fronteira entre as regiões III inferior e IV inferior do gráfico. Nota-se que todos os demais resultados oscilam próximos da média amostral \bar{X} , nas regiões I superior e I inferior. Caso o resultado do produto 11 fosse descartado, considerando-se como um *outlier*, o desvio padrão das onze amostras restantes cairia a menos da metade, para apenas 331 cP. O que reforça o destaque diferenciado que este óleo deve ter. Esse excelente desempenho a baixa temperatura do lubrificante 11 é consequência de seu elevado índice de viscosidade, discutido no item 5.3.

O exemplo da amostra 11 ilustra perfeitamente a importância de um alto índice de viscosidade para lubrificantes multiviscosos. Além de atender a viscosidade cinemática a 100 °C de um óleo grau 30, a viscosidade CCS deve permanecer abaixo de 7000 cP a -25°C para também enquadrá-lo no grau 10W. No caso do produto 11, ambas as exigências foram atendidas com folga em relação aos limites.

Analisando a amostra 10, que apresentou o menor índice de viscosidade entre os produtos avaliados, é possível notar o comportamento inverso. Mesmo apresentando o segundo menor valor de viscosidade cinemática a 100°C, seu valor de viscosidade CCS a -25°C foi de 6610 cP, um dos mais altos entre os lubrificantes analisados aproximando-se consideravelmente do limite de 7000 cP.

É interessante destacar que as amostras 7 e 8, assim como a amostra 10, também apresentam valores bem próximos ao limite de 7000 cP. No caso dos produtos 7 e 8, apesar de ambos possuírem índice de viscosidade superior à amostra 10, suas viscosidades cinemáticas são superiores à da amostra 10, de modo que já partem de um patamar de viscosidade mais alto antes de serem submetidas à baixa temperatura do ensaio de C.C.S.

5.5. Viscosidade *High Temperature / High Shear* a 150°C (HTHS) – ASTM D5481

Os valores de viscosidade *High Temperature / High Shear* a 150°C obtidos para as 12 amostras de lubrificantes estudadas esta apresentado no gráfico 11.

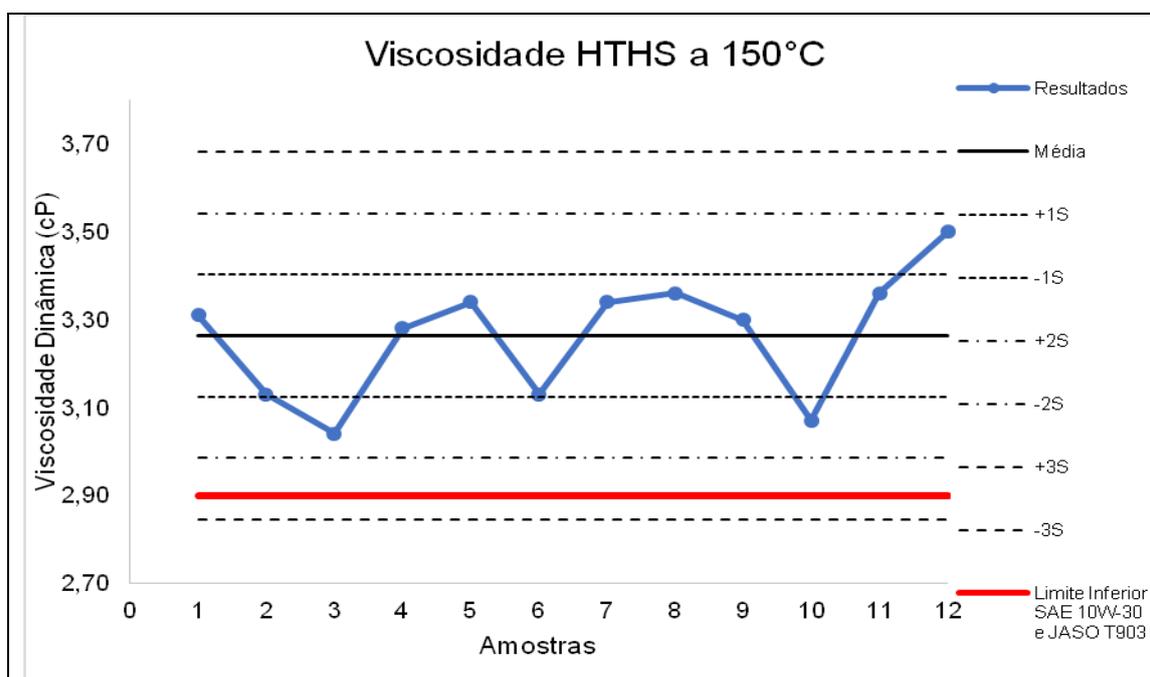


Gráfico 11: Resultados de viscosidade HTHS a 150°C

Fonte: Elaboração própria

Nota-se que todos os produtos avaliados apresentaram resultados acima do valor mínimo de 2,90 cP, exigido para o grau 10W-30 da SAE J300 e pela JASO T903. A média amostral dos resultados foi de 3,26 cP, com desvio padrão de 0,14 cP, uma amplitude de 0,32cP e uma variação relativa entre as amostras de 9,82%.

O produto 12 destaca-se como sendo o de maior viscosidade HTHS, sendo o único resultado localizado na região II superior. Isso significa que seu MIV apresentou boa estabilidade frente a ação do cisalhamento, mantendo o óleo com uma viscosidade confortavelmente acima do limite mínimo.

Por outro lado, os produtos que mais se aproximaram do limite exigido foram os das amostras 3 e 10, com 3,04 e 3,07 cP, respectivamente. Ambos se localizaram na região II inferior do gráfico. Esse comportamento era esperado, uma vez que foram justamente essas amostras que também apresentaram as menores viscosidades cinemáticas a 100°C.

5.6. Ponto de Fulgor *Cleveland Open Cup* – ASTM D92

Os valores de ponto de fulgor *Cleveland Open Cup* obtidos para as 12 amostras de lubrificantes estudadas estão apresentados no gráfico 12.

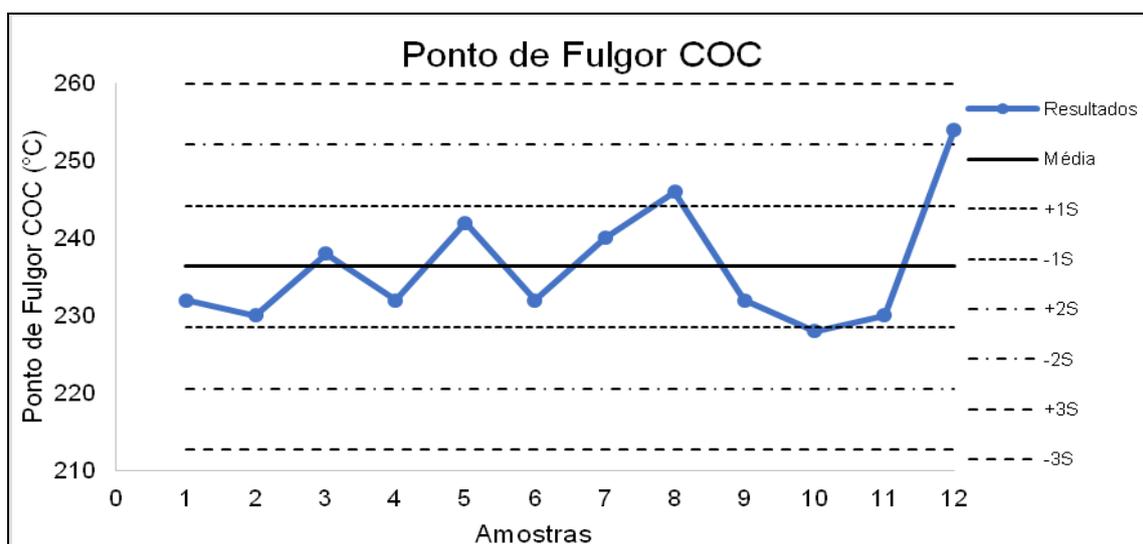


Gráfico 12: Resultados de Ponto de Fulgor Cleveland Open Cup

Fonte: Elaboração própria

Esta análise não apresenta limites de especificação estabelecidos como requisito de desempenho para o óleo comercial. A média amostral dos

resultados foi de 236°C, com desvio padrão de 8°C, uma amplitude de 26°C e uma variação relativa de 11% entre as amostras analisadas.

Pode-se notar que a amostra 12 destacou-se com um alto valor de ponto de fulgor, sendo o único localizado na região III superior do gráfico. O resultado obtido nesta amostra foi de 254°C. Esse resultado indica que a amostra 12 deve possuir menos componentes leves em sua formulação, já que demanda maior energia térmica para liberar vapores em concentração suficiente para gerar uma chama quando submetidos à uma centelha.

5.7. Formação de Espuma – ASTM D892

O resultado de estabilidade foi de 0 mL para todas as amostras, de modo que não serão apresentados gráficos desses resultados. Nos gráficos 13, 14 e 15 estão representados os resultados de tendência de formação de espuma, nas sequências I, II e III.

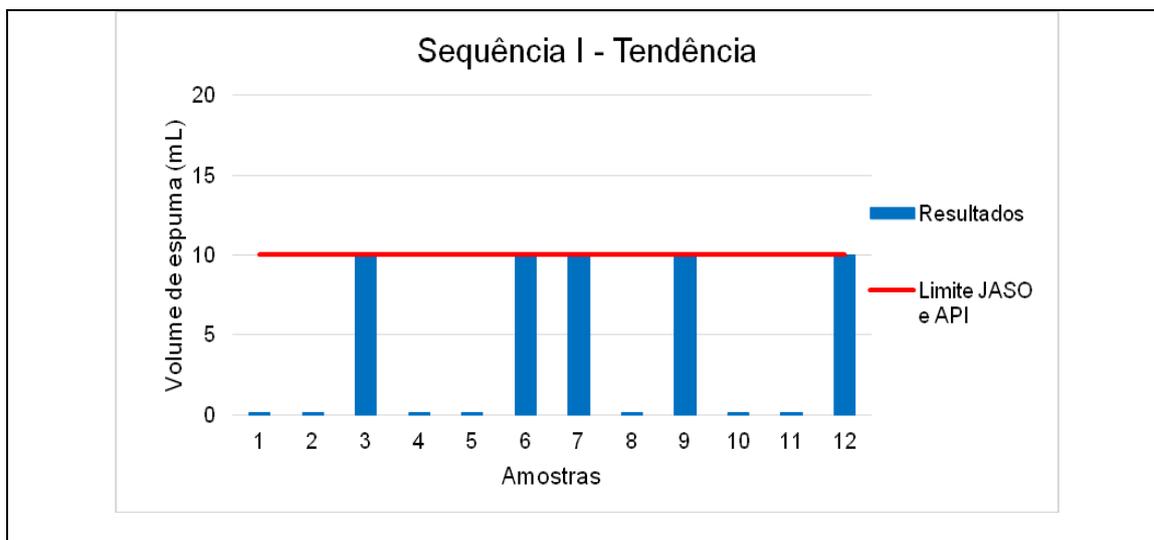


Gráfico 13: Resultados de Formação de Espuma – sequência I (tendência)

Fonte: Elaboração própria

Na sequência I, todos os produtos avaliados tiveram resultados dentro da especificação estabelecidas tanto pela norma JASO T903 quanto para os níveis API SL, SM e SN, onde o valor máximo de tendência de formação de espuma na sequência I é de 10 mL. Porém cabe destacar que 5 produtos apresentaram como resultado o limite máximo definido pelas normas, amostras

3, 6, 7, 9 e 12, necessitando de uma observação mais cuidadosa nas próximas sequências.

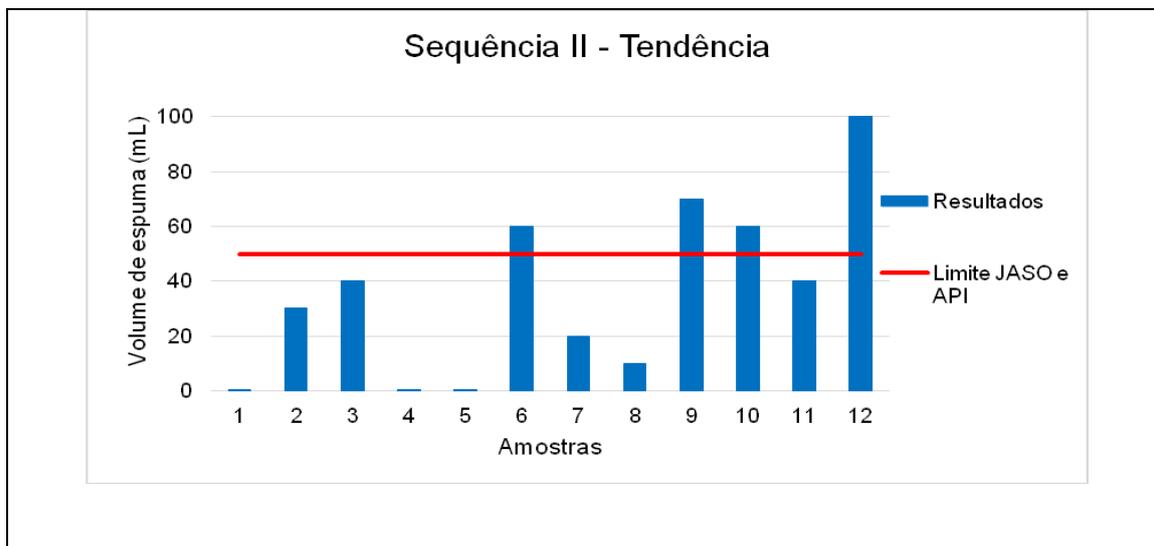


Gráfico 14: Resultados de Formação de Espuma – sequência II (tendência)

Fonte: Elaboração própria

Na sequência II, o limite de especificação estabelecido pelas normas é de 50 mL de tendência de formação de espuma. Foram observadas quatro amostras fora desse limite, amostras 6, 9, 10 e 12 que apresentaram 60 mL, 70 mL, 60 mL e 100 mL de espuma, respectivamente. Isso indica uma necessidade de ajuste de suas formulações com adição de agente antiespumante.

A amostra 3 que apresentou resultado limítrofe na sequência I atingiu valores mais medianos na sequência II, mas abaixo dos valores determinados pelas especificações das normas.

Interessante confirmar a importância dessa sequência de testes para identificação de casos como o da amostra 10, que na sequência I não apresentou nenhuma espuma e na sequência II ultrapassou o limite de especificação das normas, mostrando que este produto pode apresentar muita espuma quando ocorre um aumento da temperatura.

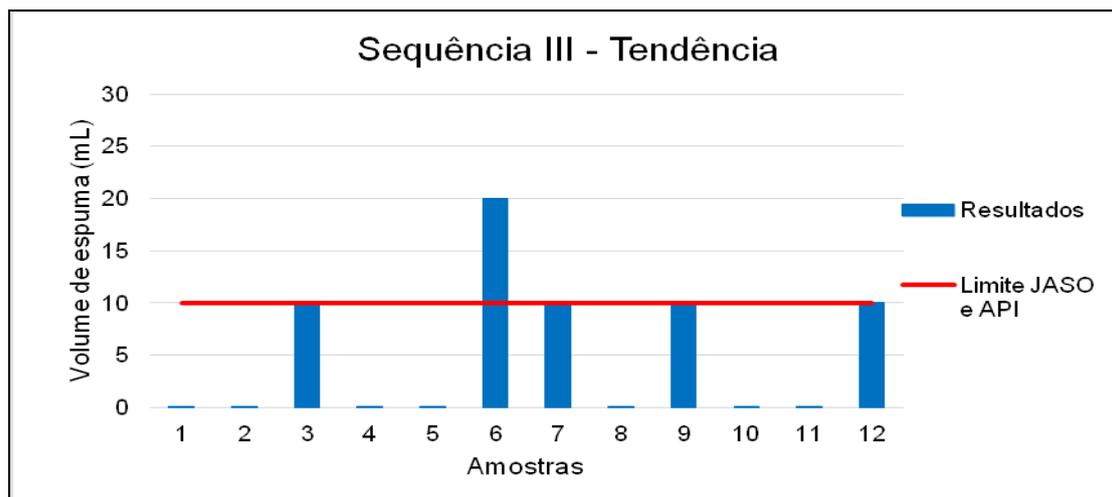


Gráfico 15: Resultados de Formação de Espuma – sequência III (tendência)

Fonte: Elaboração própria

Na sequência III, o limite de especificação estabelecido pelas normas é de 10 mL de tendência de formação de espuma. Os resultados da sequência III, como era de se esperar, foram semelhantes aos da sequência I, uma vez que ambas as sequências são realizadas na mesma temperatura de teste.

Igualmente como na sequência I, as amostras 3, 7, 9 e 12 apresentaram resultados limítrofes ao valor de especificação requerido, contudo, observou-se que a amostra 6 teve um aumento na tendência de formação de espuma, ficando acima do limite máximo estabelecido pelas normas. Isso pode ser explicado por uma possível redução na atividade dos agentes antiespumantes presentes no produto 6 após o aquecimento ocorrido para a sequência II.

5.8. Perda por Evaporação, 1h a 250°C – ASTM D5800

Os valores de perda por evaporação, 1h a 250°C obtidos para as 12 amostras de lubrificantes estudadas está apresentado no gráfico 16.

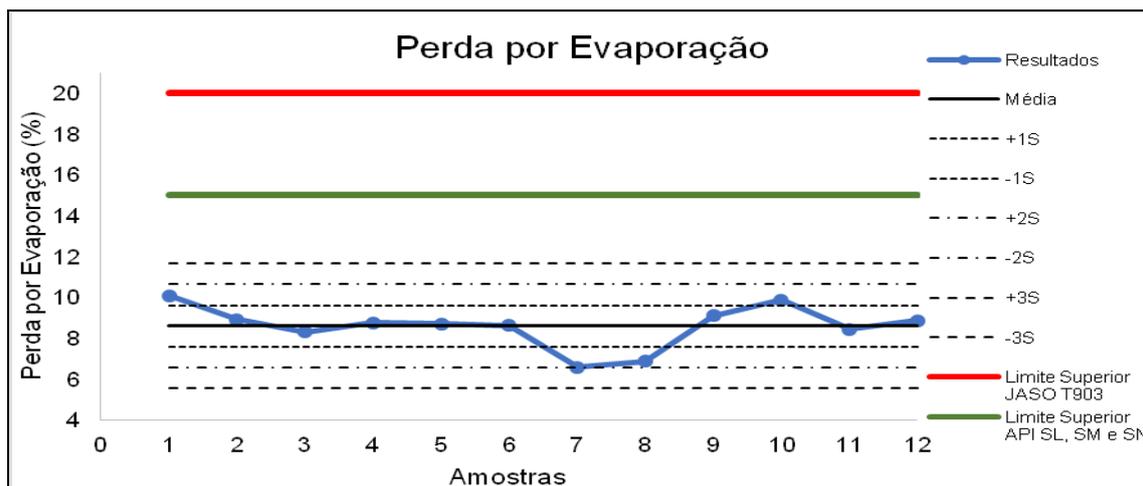


Gráfico 16: Resultados de perda por evaporação, 1h a 250°C

Fonte: Elaboração própria

Todas as amostras avaliadas obtiveram resultados satisfatórios de perda por evaporação quando comparados aos limites máximos permitidos para lubrificantes que atendem à JASO T903 (20% de perda) e aos graus API SL, SM e SN (15% de perda). A média das 12 amostras foi de 8,6% de perda, com um desvio padrão de 1,0%, uma amplitude de 3,5% e uma variação relativa de 40,7% entre as amostras analisadas. Mostrando ser uma propriedade que também diferencia bastante os produtos estudados, mesmo que com todos seguindo as especificações requeridas.

Dentre os lubrificantes analisados, o produto 1 foi o que apresentou o resultado mais elevado, com 10,1% de perda por evaporação, seguido pelo produto 10, com 9,9%. A perda por evaporação é uma propriedade fortemente relacionada aos óleos básicos que constituem a formulação do lubrificante. Altos valores de perda por evaporação indicam a presença de componentes mais leves no óleo básico, aumentando sua volatilidade. Em óleos de baixa viscosidade, como óleos grau 0W-20 ou 0W-16, há uma grande preocupação com os resultados de perda por evaporação uma vez que em suas fórmulas são utilizados óleos básicos muito leves e de baixa viscosidade. A amostra 1, apesar de ter apresentado a maior perda por evaporação, apresentou um dos valores mais altos de viscosidade cinemática, o que poderia ser interpretado como algo contraditório. Uma possível explicação para esse fato seria a sua formulação utilizar óleos básicos mais leves e compensar a queda de viscosidade com o MIV em uma taxa de utilização mais elevada, de modo que o MIV sustentaria um alto valor de viscosidade em altas temperaturas. Já o

produto 10 apresentou uma baixa viscosidade cinemática acompanhada por uma volatilidade relativamente alta, sendo o comportamento esperado.

Já em relação a amostra de menor perda de massa destaca-se a amostra 7, com apenas 6,6% de perda, possivelmente sendo constituída por componentes mais pesados em sua formulação, confirmada pelos altos valores de viscosidade apresentados.

Ao comparar os resultados de perda por evaporação com os valores de ponto de fulgor, nota-se que as amostras que apresentaram maior percentual de perda por evaporação foram as mesmas com ponto de fulgor mais baixo, como é o caso das amostras 1 e 10. Esses resultados confirmam uma maior presença de componentes voláteis nessas amostras, possivelmente com um teor maior de óleos básicos de menor densidade e viscosidade.

5.9. Ponto de Fluidez – ASTM D7346

Os valores de ponto de fluidez obtidos para as 12 amostras de lubrificantes estudadas está apresentado no gráfico 17.

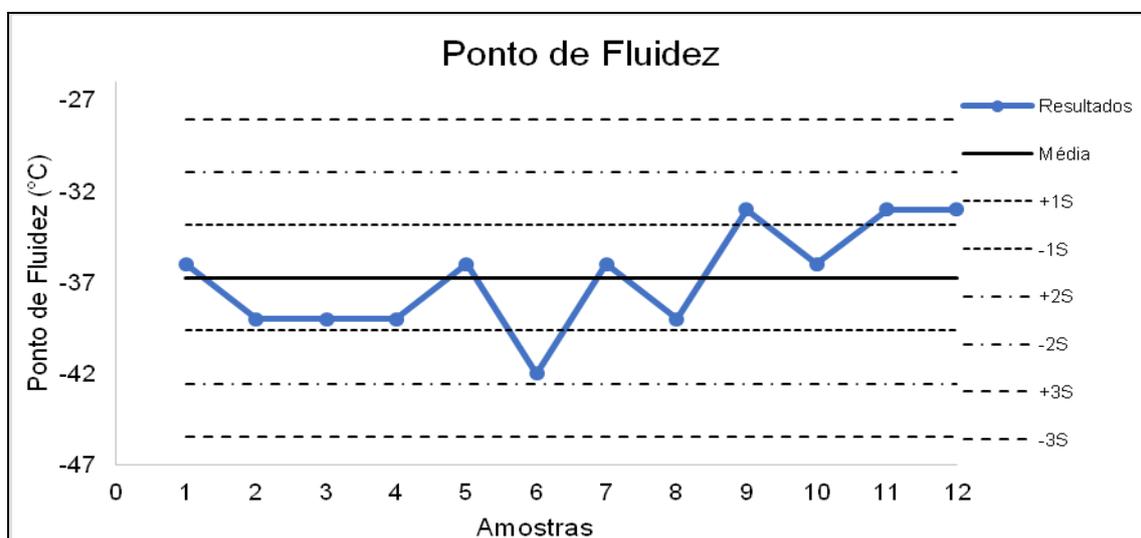


Gráfico 17: Resultados de ponto de fluidez

Fonte: Elaboração própria

Não há especificação de ponto de fluidez exigida para lubrificantes que atendem a JASO T903 e aos graus API SL, SM e SN, mas é uma propriedade relevante principalmente em locais com possibilidade de trabalho em temperatura ambiente mais reduzida.

As 12 amostras avaliadas apresentaram média de -37°C de ponto de fluidez, com desvio padrão de 3°C , amplitude de 9°C e com variação relativa de 24%. A amostra 6 destacou-se como a de ponto de fluidez mais baixo, mantendo-se fluida até -42°C . Esse resultado pode ser decorrente da utilização de um aditivo abaixador de ponto de fluidez mais eficaz, ou talvez da utilização de óleos básicos sintéticos, que apresentam melhores propriedades a baixas temperaturas. As amostras que apresentaram ponto de fluidez mais alto foram a 9, 11 e 12, todas com resultado de -33°C , mas mesmo assim com resultados que permitem seu uso em ambientes ainda com temperaturas bem baixas.

5.10. Determinação de Elementos por Espectrofotometria de Emissão de Plasma – ASTM D4951

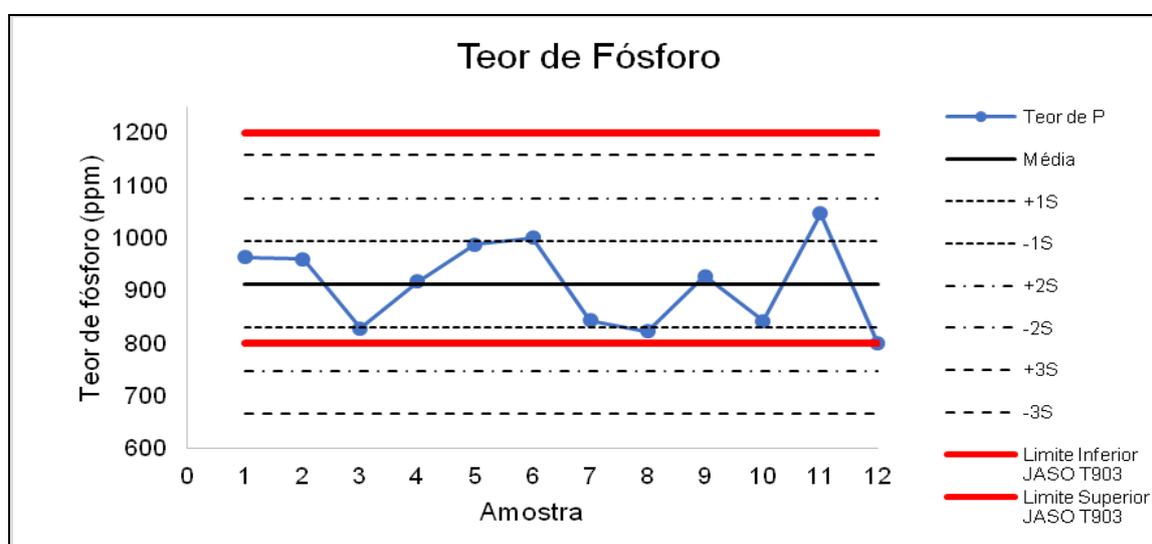
Os valores de determinação de elementos obtidos por Espectrofotometria de Emissão de Plasma para as 12 amostras de lubrificantes estudadas estão apresentados por elemento nos gráficos 18, 19, 20, 21, 22 e 23. Serão avaliados os teores dos elementos: fósforo, cálcio, magnésio, zinco, molibdênio e titânio. Foram escolhidos esses elementos pois são os mais utilizados nos aditivos de lubrificantes, permitindo fornecer informações sobre a aditivação de cada um dos produtos. É interessante mencionar que a análise de elementos em óleos lubrificantes em uso, ou seja, após o início da utilização no equipamento, é uma importante ferramenta na obtenção de informações a respeito de possíveis desgastes no motor. Metais como alumínio, ferro, cromo, cádmio, cobre, níquel, chumbo, estanho, entre outros, estão presentes em diversos componentes do motor e a presença desses metais no óleo lubrificante em uso indicam o desgaste dessas partes do motor. A tabela 13 apresenta a relação entre o metal e a indicação de desgaste que sua presença no lubrificante indica.

Tabela 13: Metais presentes em óleo em uso e suas indicações de desgaste

Metais presentes	Indicação por desgaste
Al	Pistões, rolamentos, bombas, rotores, tuchos de bombas
B, Na	Furos no sistema de resfriamento
Fe	Cilindros, engrenagens, anéis, eixo, virabrequim, rolamentos, bomba de óleo, compressor de ar, eixo de comando de válvulas, impurezas, corrosão, bomba de óleo
Cr	Anéis, rolamentos, cubos de freio, cilindros e partes de sistemas hidráulicos
Cd	Rolamentos
Cu	Buchas, rolamentos, discos de transmissão, arruelas de encosto, mancais
Si	Contaminação pelo ar
Ni	Rolamento e válvulas
Sn	Rolamentos
Pb	Rolamentos

Fonte: SARKIS (2016)

Como o objetivo do trabalho é realizar um estudo comparativo de óleos lubrificantes novos, e não monitorar o desgaste ocorrido nos equipamentos, foram escolhidos a análise apenas dos resultados dos metais de aditivação.

**Gráfico 18:** Resultados de teor de fósforo

Fonte: Elaboração própria

Entre os elementos analisados, o fósforo é o único que possui limites especificados pela JASO T903, sendo o mínimo de 800 ppm e o máximo de 1200 ppm. A necessidade dessa especificação está relacionada ao possível envenenamento dos catalisadores de Rh/Pd e Pt/Pd presentes no sistema de controle de emissões promovido pela presença dos compostos fosforados.

Todos os 12 produtos analisados apresentaram teor de fósforo dentro das especificações requeridas pela norma JASO T903, com uma média de 912 ppm, com desvio padrão de 82 ppm, amplitude de 247 ppm e variação relativa de 27%. É interessante observar que a média das amostras se concentram mais próximas do limite inferior da especificação. E as amostras 5, 6 e 11 apresentaram os resultados mais altos dentro da média dos valores de especificação requeridos.

Algumas amostras (3, 8 e 12) apresentaram resultados bem próximos do limite inferior de especificação, com destaque para a amostra 12 que forneceu o valor limite de especificação de 800ppm.

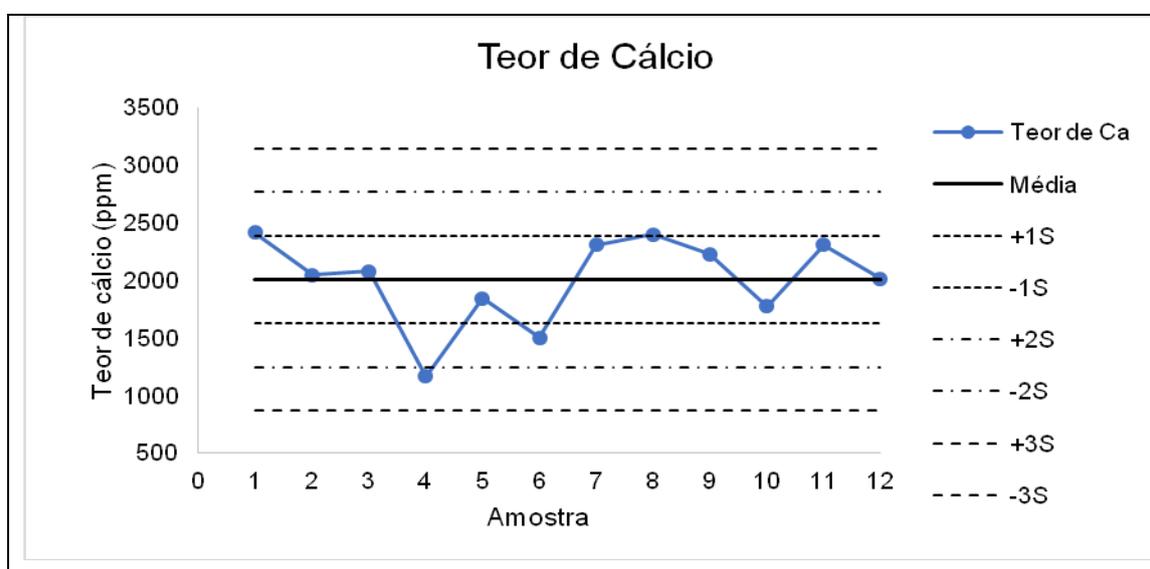


Gráfico 19: Resultados de teor de cálcio

Fonte: Elaboração própria

Os 12 produtos avaliados apresentaram como média o valor de 2005 ppm de cálcio em suas formulações, com um desvio padrão de 379 ppm, amplitude de 1242 ppm e variação relativa de 62%. Este valor de variação é bem alto em relação as outras análises conduzidas, o que poderia ser um destaque a princípio, a ser utilizado como uma propriedade interessante para uma avaliação de diferença entre os produtos estudados.

Porém, nota-se que há uma discrepância entre o resultado obtido para a amostra 4 e os demais resultados das outras amostras. A amostra 4 apresentou resultado de 1168 ppm de cálcio, bem abaixo que as demais

amostras. Este resultado, a princípio, indicaria uma menor aditivação de detergentes e dispersantes, contudo para se garantir tal afirmação, é necessário avaliar os resultados de teor de magnésio, que é um elemento também presente nos sulfonatos e fenatos utilizados como aditivos detergentes e dispersantes.

Assumindo esta amostra 4 como um outlier e procedendo-se a sua exclusão da análise dos resultados de teor de cálcio, a média dos resultados passa a ser de 2081 ppm, com variação entre 1504 ppm, obtidos na amostra 6, e 2410 ppm, obtidos na amostra 1, baixando a amplitude em mais de 50% para 569 ppm e variação relativa de 27%. O que mostra que não existe diferença tão significativa deste elemento nas demais formulações dos produtos.

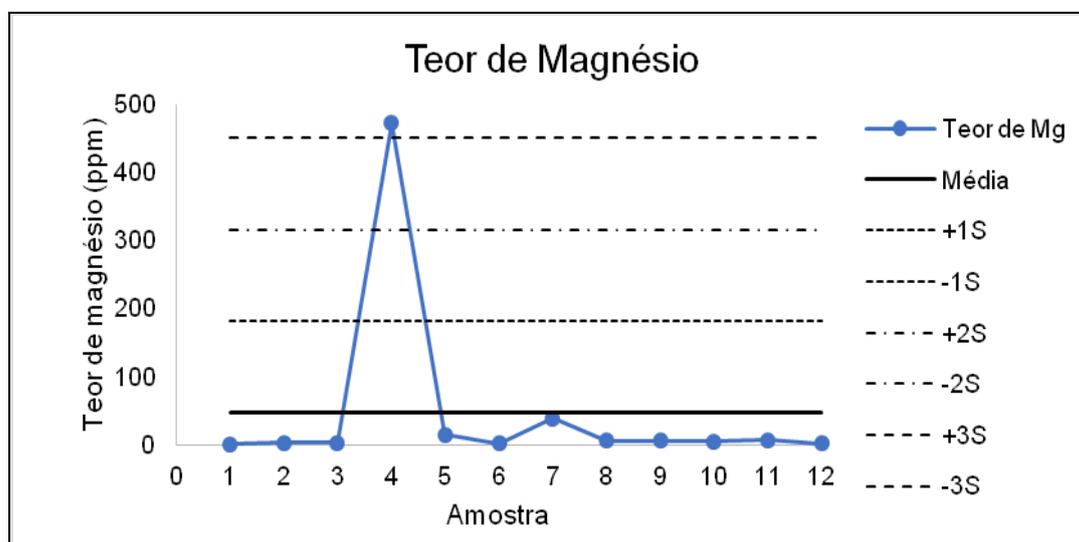


Gráfico 20: Resultados de teor de magnésio

Fonte: Elaboração própria

Avaliando os resultados de teor de magnésio, nota-se que apenas a amostra 4 apresentou quantidade significativa desse elemento em sua composição, justificando o seu baixo valor de teor de cálcio discutido anteriormente. Enquanto a amostra 4 apresentou 472 ppm de magnésio, as demais amostras apresentaram resultados inferiores a 40 ppm de magnésio, possivelmente devido a alguma pequena contaminação em seus processos de fabricação e/ou envase. Somando os 472 ppm de magnésio com os 1168 ppm de cálcio obtidos na amostra 4, notamos que há 1640 ppm desses dois elementos, indicando uma aditivação de detergentes e dispersantes alinhada

com os demais produtos avaliados. Este fato é interessante pois a presença de aditivação com estes altos teores de magnésio, apenas na amostra 4, indica que esse produto deve ter utilizado um pacote de aditivos diferente, não usado por nenhum outro dos produtos avaliados.

A média dos resultados excluindo o valor da amostra 4 foi de 8 ppm, com desvio padrão de 11 ppm.

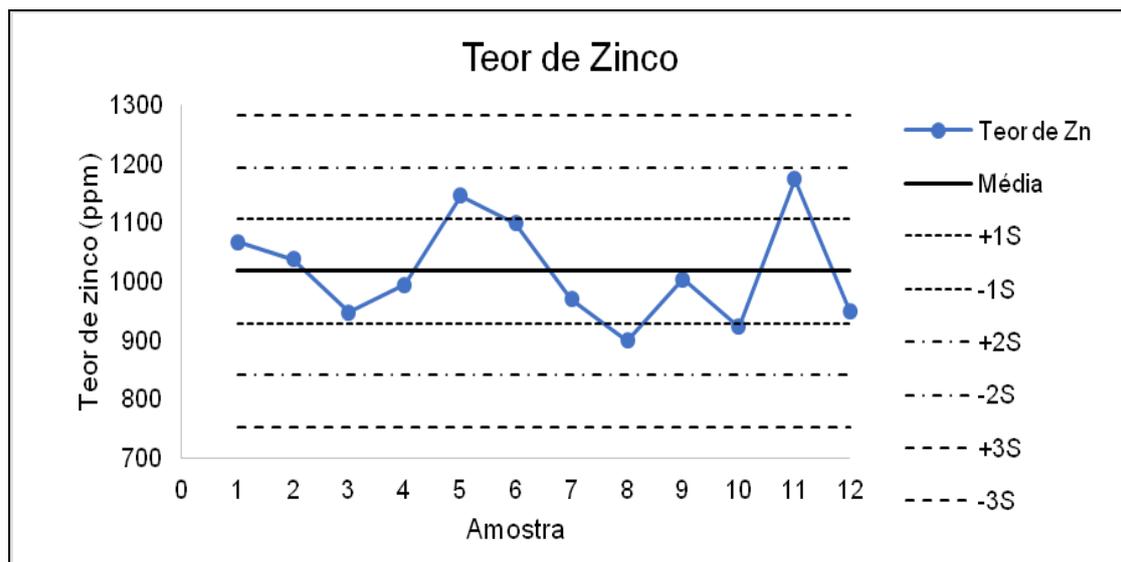


Gráfico 21: Resultados de teor de zinco

Fonte: Elaboração própria

As 12 amostras avaliadas tiveram como média 1017 ppm de zinco, com desvio padrão de apenas 88 ppm, com amplitude de 274 ppm e variação relativa de 27%. Esses resultados indicam que há uma utilização semelhante de zinco nas fórmulas dos 12 produtos avaliados. Conforme discutido anteriormente, o zinco é um elemento presente em aditivos antidesgaste, sobretudo nos ditiofosfatos de zinco (ZDDPs), fundamental para lubrificantes de motores.

O zinco presente no ZDDP vai sendo depositado nas peças do equipamento, gerando uma camada de proteção adicional ao sistema. A importância deste tipo de aditivação reflete-se na sua presença em todas as amostras avaliadas.

Pode-se observar, contudo, que a amostra 11, seguida pela amostra 5, apresentam os maiores teores de zinco. Isso indica uma maior capacidade desses lubrificantes em promover a proteção antidesgaste no motor. O produto 8, por sua vez, apresentou o menor teor de zinco, podendo indicar um pior desempenho na proteção contra o desgaste.

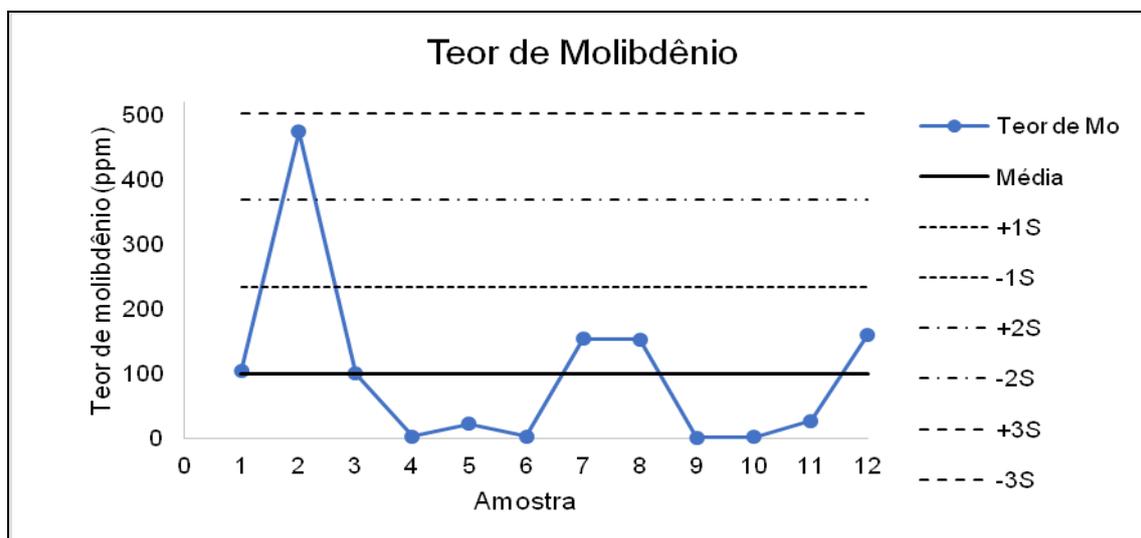


Gráfico 22: Resultados de teor de molibdênio

Fonte: Elaboração própria

Analisando os resultados de teor de molibdênio, nota-se que os 12 produtos se dividem em três perfis de aditivação com este elemento. O molibdênio costuma estar presente em dialquifosfatos e dialquilcarbamatos utilizados como modificadores de atrito. Assim, pode-se dizer que, cada um desses três grupos de produtos apresenta tecnologias de modificação de atrito diferentes umas das outras.

O primeiro grupo é formado pelas amostras 4, 5, 6, 9, 10 e 11, que não apresentam teor de molibdênio significativo em suas composições. O segundo grupo é composto pelas amostras 1, 3, 7, 8 e 12, com teor de molibdênio entre 100 e 160 ppm. Por fim, a amostra 2 destaca-se como a que utiliza aditivação de molibdênio mais significativa, com 473 ppm.

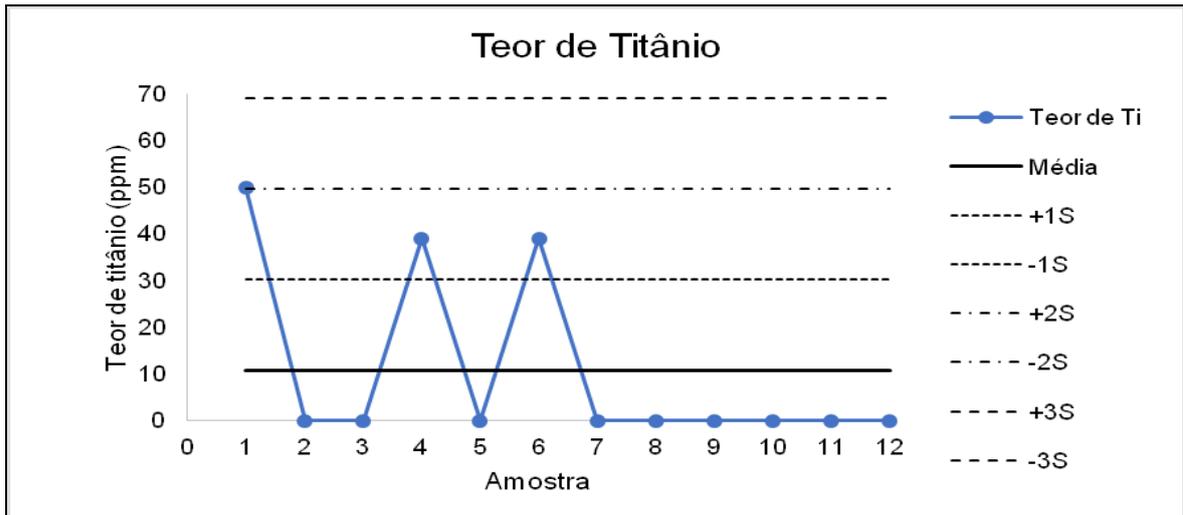


Gráfico 23: Resultados de teor de titânio

Fonte: Elaboração própria

Igualmente como no elemento anterior, o elemento titânio apresenta como particularidade estar sendo utilizado como aditivo redutor de atrito como nanopartículas de TiO_2 .

Analisando os resultados das 12 amostras avaliadas (Gráfico 24), é possível notar a existência de 2 tipos de perfil de grupos, onde os produtos 1, 4 e 6 utilizam esse elemento, em teores entre 39 e 50 ppm, em suas composições e as demais amostras não incluem este elemento em suas composições.

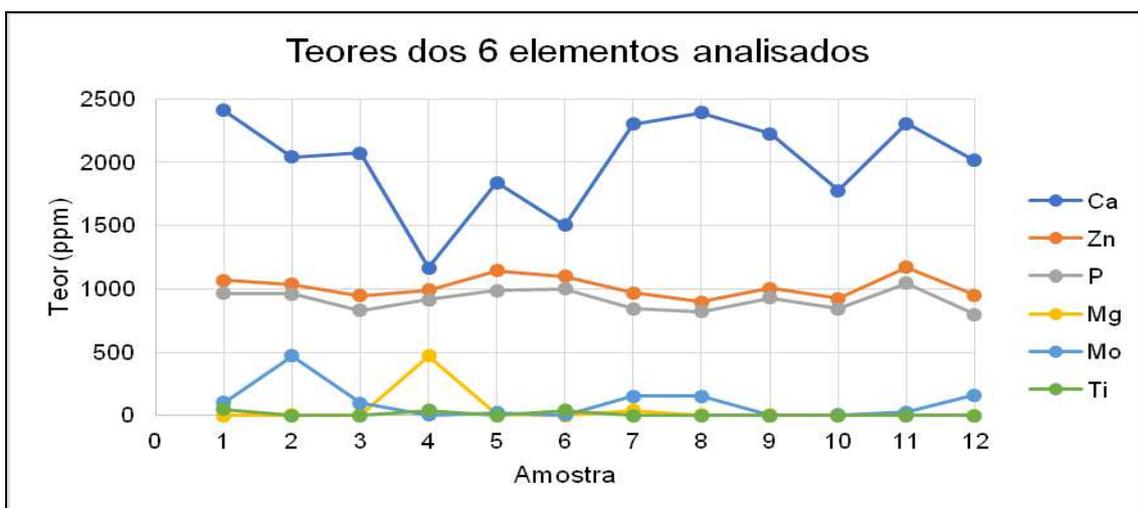


Gráfico 24: Resultados dos teores dos 6 elementos reunidos

Fonte: Elaboração própria

Após todos estes resultados, como estes elementos estão associados a compostos utilizados como aditivos na formulação dos lubrificantes, e que é usual o emprego de pacotes de aditivos nessas formulações, foi feita uma avaliação em busca de alguma similaridade nos resultados das amostras avaliadas. Pode-se destacar que nos resultados, dos 6 teores de elementos analisados nas 12 amostras por espectrofotometria de emissão de Plasma, é possível dizer que as amostras 3, 7, 8 e 12 apresentam um perfil de aditivação muito parecido, possivelmente se utilizando do mesmo pacote de aditivos em suas formulações. O gráfico 24 apresenta os resultados reunidos dos teores dos 6 elementos avaliados nas 12 amostras, de modo a facilitar a visualização dessa conclusão. Avaliando o gráfico 24, também pode-se notar como os teores de zinco e fósforo estão extremamente correlacionados em todas as amostras. Isso deve-se aos aditivos antidesgaste ditiofosfatos de zinco, que apresentam tanto zinco, quanto fósforo em suas moléculas.

5.11. Estabilidade ao Cisalhamento, Usando Bico Injetor de Diesel Europeu – ASTM D6278

Os valores de estabilidade ao cisalhamento, usando bico injetor de diesel europeu obtidos para as 12 amostras de lubrificantes estudadas estão apresentados no gráfico 25

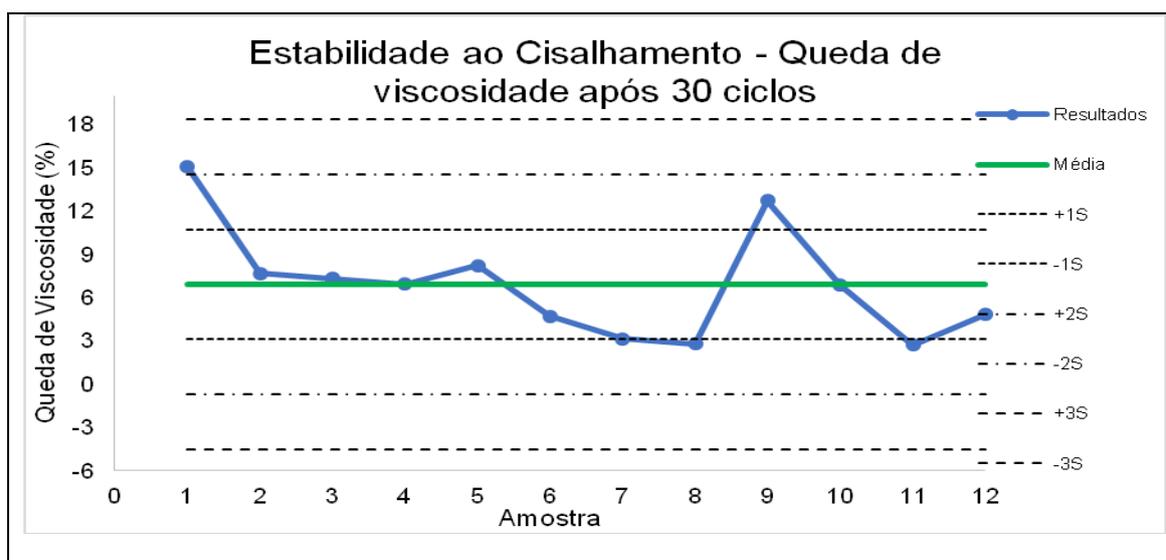


Gráfico 25: Resultados de estabilidade ao cisalhamento – queda percentual de viscosidade após 30 ciclos

Fonte: Elaboração própria

A partir dos resultados obtidos, nota-se que as amostras 7, 8 e 11 apresentaram as menores quedas percentuais de viscosidade após o teste de Estabilidade ao Cisalhamento, com apenas 3,16%, 2,80% e 2,74% de queda, respectivamente. Isso significa que, ou o polímero que compõe o MIV desses lubrificantes sofreu pouca degradação, ou suas formulações utilizam pouco MIV e não tiveram a viscosidade tão impactada.

Por outro lado, destacam-se como maiores quedas de viscosidade, as amostras 1, com 15,06 % de queda, e a 9, com 12,72%. A amostra 1 foi a única que apresentou valor de queda localizada na região III superior do gráfico. Esse comportamento corrobora a hipótese apresentada no item 5.8, que apresenta a maior presença de MIV como uma justificativa para a alta viscosidade cinemática estar associada à uma alta perda por evaporação observada na amostra 1. Quanto mais MIV o lubrificante possui, mais a sua viscosidade é um resultado da presença deste aditivo e, conseqüentemente, mais fortemente será reduzida após a ação do cisalhamento.

Para esta propriedade existe apenas valores mínimos de viscosidade requerida pela norma JASO T903 quanto a estabilidade ao cisalhamento após 30 ciclos a 100°C. No gráfico 26 são apresentados os resultados das 12 amostras nessas condições.

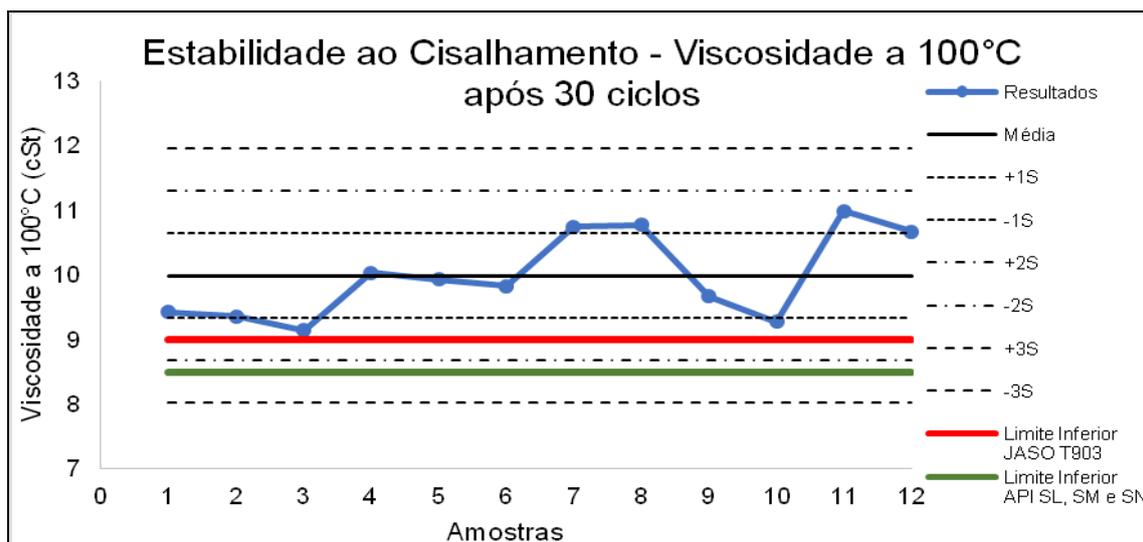


Gráfico 26: Resultados de estabilidade ao cisalhamento – viscosidade a 100°C após 30 ciclos

Fonte: Elaboração própria

Todos os 12 produtos avaliados apresentaram viscosidade acima do limite mínimo exigido tanto para JASO T903 (9,0 cSt) quanto para os graus API SL, SM e SN (8,5 cSt) para óleos 10W-30. Pode-se destacar, entretanto, que as amostras 3 e 10 não apresentaram desempenho *stay in grade* no teste empregado. Isso significa que, após os 30 ciclos, a viscosidade destes produtos ficou abaixo do valor mínimo para seu grau SAE J300, que é 9,30 cSt para lubrificantes 10W-30. A amostra 3 obteve 9,14 cSt de viscosidade final, enquanto a amostra 10, obteve 9,28 cSt. Não conseguir desempenho *stay in grade* no ensaio de estabilidade ao cisalhamento é um fato indesejado, indicando que o lubrificante poderá atingir viscosidades perigosamente baixas ao longo de sua utilização. Durante a operação do motor, o óleo está submetido constantemente a forças de cisalhamento e tem a sua viscosidade reduzida com o avançar da quilometragem percorrida. É importante que, considerando essa natural queda de viscosidade ao longo do tempo, o lubrificante consiga manter sua viscosidade adequada para o funcionamento no motor, caso contrário pode haver o comprometimento de sua ação lubrificante, exigindo um tempo de troca mais reduzido.

Destaca-se também que a amostra 1, mesmo tendo apresentado a maior queda percentual de viscosidade, ainda apresentou um resultado de viscosidade que a enquadrou como *stay in grade*. Isso se deve ao alto valor inicial de viscosidade cinemática deste produto, que proporcionou uma margem confortável de queda de viscosidade permitida.

5.12. Avaliação de Embalagens

Sabe-se que a embalagem é um dos aspectos que causam maior impacto ao consumidor médio, podendo ter uma importância significativa no posicionamento de preço do produto, logo é interessante observar sua contribuição na qualidade observada dos produtos estudados. A seguir, estão detalhados os principais aspectos obtidos a partir da análise de embalagens dos 12 produtos estudados onde foram avaliadas: as massas dos frascos vazios com tampa, o material utilizado na fabricação de seus rótulos, a espessura do frasco, o volume efetivo de óleo nas embalagens, o período de

validade informado no rótulo, visor de nível, tempo de prateleira e presença de lacre e/ou selo na tampa.

No gráfico 27 estão indicados os resultados de valor de massa dos frascos vazios com tampa.

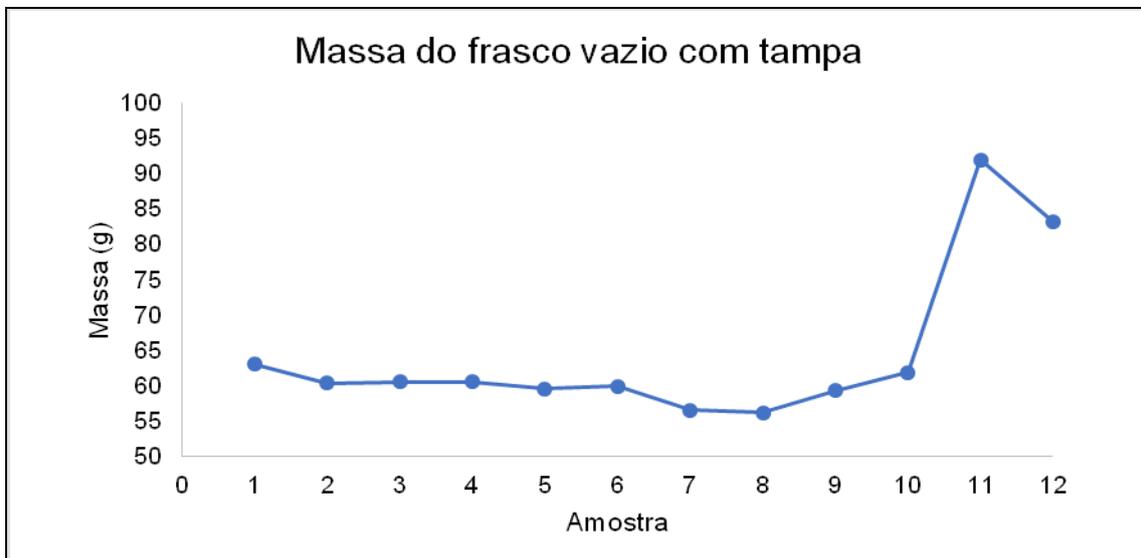


Gráfico 27: Resultados de massa do frasco vazio com tampa

Fonte: Elaboração própria

A análise de massa dos frascos demonstra uma forte diferença dos produtos 11 e 12 em relação aos demais. Nesses dois produtos, os fabricantes utilizaram elementos diferenciadores em seus frascos, buscando chamar a atenção dos clientes e dar um posicionamento de performance superior aos seus lubrificantes. Enquanto os frascos dos produtos de 1 a 10 possuem tampa de rosca, as embalagens dos lubrificantes de 11 e 12 apresentam tampa de rosca com bico retrátil, o que resulta num aumento da massa da tampa. A função do bico é dar maior facilidade de acesso ao cárter no momento da troca de óleo, sendo um diferencial na embalagem destes produtos.

O material utilizado na fabricação do rótulo é outro elemento diferenciador dos frascos dos produtos 11 e 12, conforme apontado na tabela 14.

Tabela 14: Material de fabricação dos rótulos

Produto	Material do rótulo
1	Polietileno tereftalato (PET)
2	Papel
3	Papel
4	Papel
5	Papel
6	Papel
7	Papel
8	Papel
9	Polietileno tereftalato (PET)
10	Papel
11	Polietileno de baixa densidade (PEBD)
12	Polietileno de baixa densidade (PEBD)

Fonte: Elaboração própria

Pode-se notar que a maioria das etiquetas adesivas se dividem em dois grupos principais: papéis e filmes. As etiquetas de papel são geralmente mais simples e baratas, mas têm problemas com durabilidade, rasgos, umidade ou temperatura. A maioria dos produtos avaliados utiliza rótulo de papel estando susceptíveis a estes problemas. Já os rótulos dos produtos 1 e 9 são de PET e os dos óleos 11 e 12, de PEBD, acabam sendo mais caros porém apresentam maior resistência a agressões, como água e umidade, congelamento, calor, atrito, abrasão, tração ou rasgo.

Outra característica relevante para avaliação dos frascos é a espessura, apresentada no gráfico 28 abaixo:

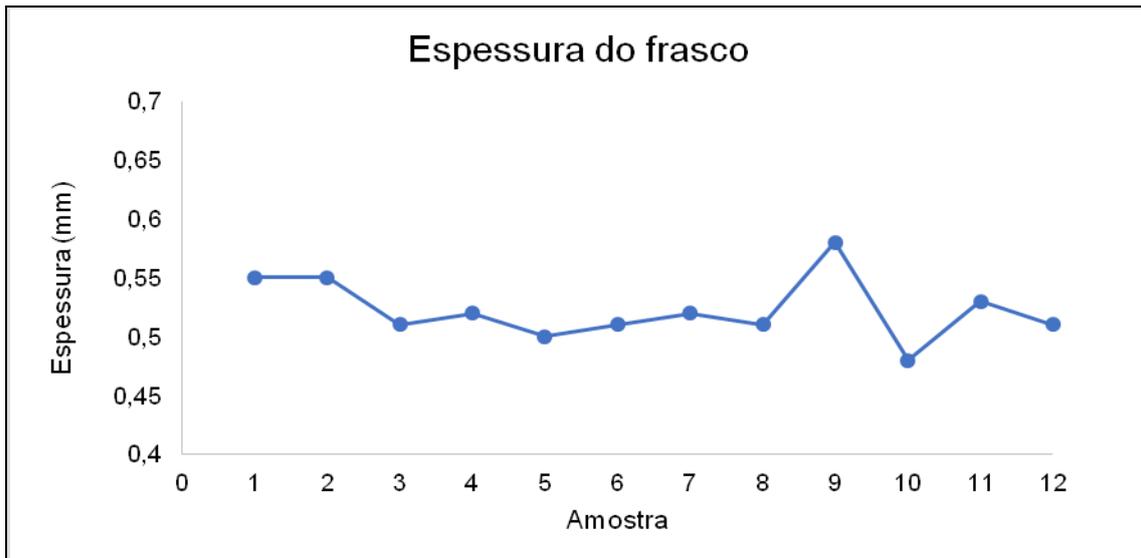


Gráfico 28: Resultados de espessura dos frascos

Fonte: Elaboração própria

Apesar de toda superioridade de massa observada nos frascos dos produtos 11 e 12, nota-se que suas espessuras estão alinhadas com a média dos demais produtos, que variam de 0,48 a 0,58 cm. Isso indica que as diferenças de massa de fato estão relacionadas aos bicos retráteis presentes nas tampas, e não na diferença de robustez e espessura dos frascos.

Quanto ao volume efetivo de óleo nos frascos, observou-se que os resultados variaram de 992,2 mL, presentes na amostra 2, à 1032,4 mL, presentes na amostra 4. Os resultados estão apresentados no gráfico 29.

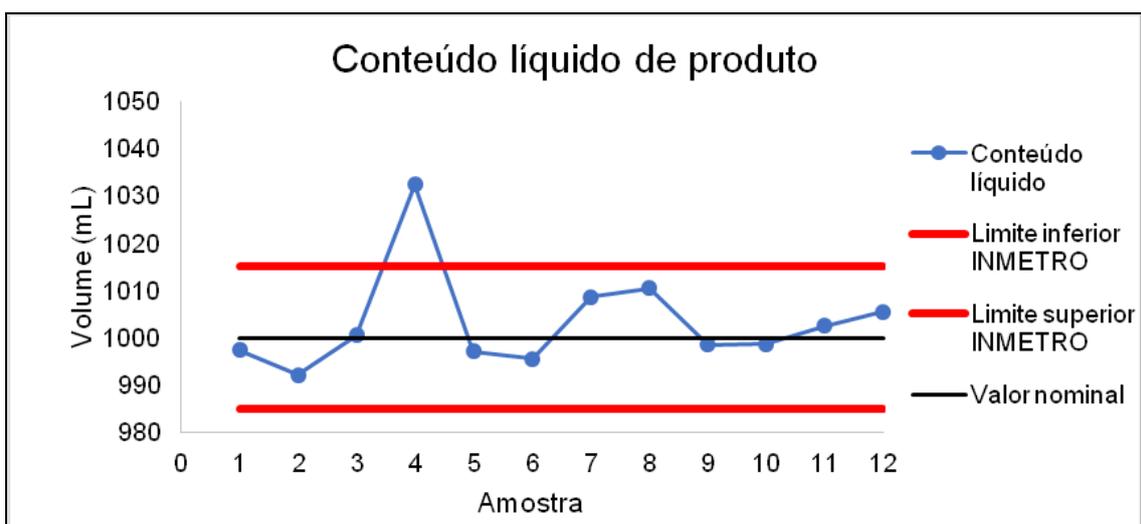


Gráfico 29: Conteúdo líquido de produto

Fonte: Elaboração própria

De acordo com a Portaria INMETRO nº 248 de 17/07/2008, admite-se uma tolerância de 1,5% sobre o valor nominal de produtos com volume entre 1000 e 10000 mL. No caso dos produtos avaliados (todos com valor nominal de 1000 mL), a faixa permitida, de acordo com o INMETRO seria de 985 mL a 1015 mL. Nota-se que o produto 4 ficou desenquadrado nesta faixa, entregando um volume de produto acima do tolerado pela Portaria.

As informações de prazo de validade indicadas no rótulo dos produtos estão apresentadas na tabela 15.

Tabela 15: Período de validade informado no rótulo

Produto	Período de validade
1	Indeterminado
2	Indeterminado
3	Indeterminado
4	60 meses
5	60 meses
6	60 meses
7	4 anos
8	4 anos
9	5 anos
10	5 anos
11	Não informado.
12	Não informado.

Fonte: Elaboração própria

É possível notar que, enquanto alguns fabricantes apresentam um período específico de validade para o produto, outros informam tratar-se de um produto de validade indeterminada ou sequer mencionam o período de validade na embalagem. Para os produtos 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10, o período informado variou entre 4 e 5 anos, insinuando que após esse período o produto pode ter suas propriedades e desempenho comprometidos.

Os fabricantes dos produtos 1, 2 e 3 indicam um período de validade indeterminado e o dos produtos 11 e 12 não trazem qualquer informação a respeito de período de validade. Para esses fabricantes, há um entendimento que nas condições de armazenagem do produto nos frascos, não há efeito do envelhecimento do óleo que possa prejudicar suas propriedades.

A partir das propriedades físico-químicas avaliadas para os 12 produtos, não é notado indício de diferença entre o grupo de produtos que estabelecem

prazo de validade e os que não estabelecem prazo de validade, de modo que seria preciso uma investigação técnica mais profunda que possa justificar o estabelecimento de prazo de validade para alguns produtos e o não estabelecimento para outros.

O visor de nível foi um item presente na embalagem de todos os 12 produtos avaliados. Destacou-se, contudo, que o produto 10 foi o único cujo visor de nível não apresentou indicação do volume correspondente ao nível, conforme mostrado na Figura 25.



Figura 24: Visor de nível nas embalagens. A esquerda: visor de nível com indicação clara do volume correspondente. A direita: frasco do produto 10, único produto que não apresentou a indicação do volume no visor de nível.

Fonte: Registro próprio

A não existência da indicação clara do volume de produto no visor de nível do produto 10 pode ser um fator de dificuldade para os consumidores, sobretudo quando deseja-se utilizar parcialmente o conteúdo do frasco e precisa-se fazer uma medição rápida da volumetria do produto. O tempo de prateleira dos produtos foi determinado pela diferença entre a data de aquisição e a data de fabricação informada na embalagem. Os tempos obtidos, em número de meses de prateleira, estão apresentados no gráfico 30.

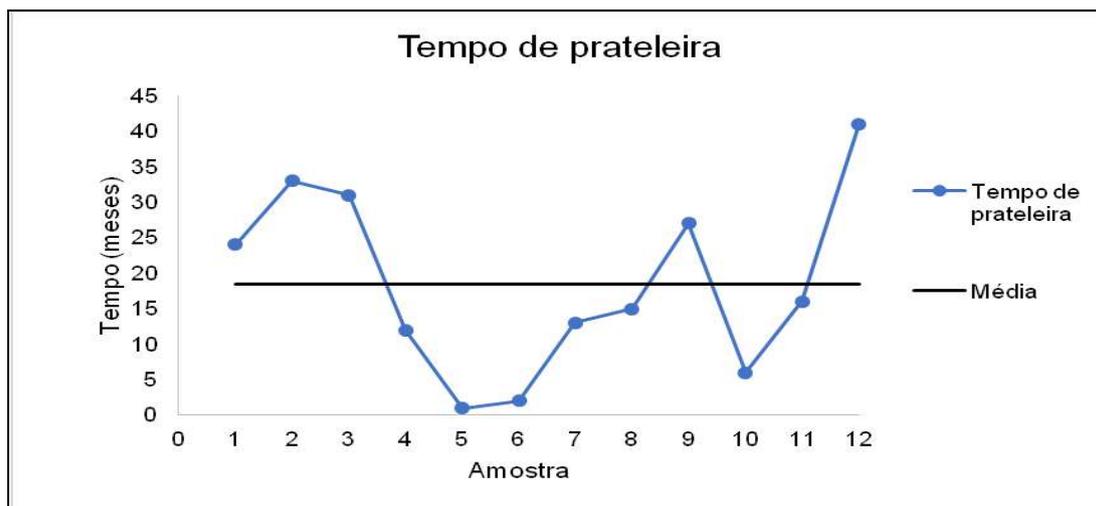


Gráfico 30: Tempo de prateleira

Fonte: Elaboração própria

Os 12 produtos apresentaram, em média, 18 meses de tempo de prateleira. Isso indica uma boa rotatividade dos produtos que, em geral, ficam a venda por um tempo bem abaixo de 4 anos, que foi o período de validade mais restritivo apresentado entre os produtos avaliados. É possível notar que os produtos 4, 5, 6, 7, 8 e 10 apresentaram os menores tempos de prateleira. O produto 5, por exemplo, foi adquirido apenas um mês após sua fabricação. Esses produtos estão entre os que estabelecem período de validade. Isso pode indicar que seus fabricantes trabalhem com a produção de estoques mais justos, de modo que seu produto não aguarde muito tempo entre a produção e a venda. Os produtos 2, 3 e 12 destacam-se com tempos de prateleira superiores a 30 meses e estão entres os produtos que não estabelecem prazo de validade, indicando que, talvez, seus fabricantes já contem com produção de grande estoque e preferam indeterminar o período de validade.

Com relação a tampa dos frascos, avaliou-se a presença de selo e lacre, além de outras características específicas encontradas nos produtos 11 e 12, conforme apresentado na tabela 16.

Tabela 16: Presença de lacre e/ou selo nas tampas

Produto	Tampa
1	Selo
2	Lacre e selo
3	Lacre e selo
4	Lacre e selo
5	Lacre e selo
6	Lacre e selo
7	Lacre e selo
8	Lacre e selo
9	Lacre e selo
10	Lacre e selo
11	Trava com bico retrátil
12	Lacre e bico de rosca

Fonte: Elaboração própria

Na avaliação das tampas, nota-se que a maioria dos produtos apresenta lacre e selo, como mostrado na Figura 26. O produto 1 destacou-se como sendo o único frasco a apresentar apenas selo, indicando maior fragilidade na proteção contra possíveis violações do frasco ou adulterações.



Figura 25: Exemplo de frasco com selo de alumínio e lacre (verde) sob a tampa

Fonte: Registro próprio

Os frascos dos produtos 11 e 12, conforme apresentado anteriormente, apresentam elementos diferenciadores em relação aos demais produtos e, sobretudo em suas tampas, os frascos ganham ainda mais destaque. O produto 11 apresenta uma tampa retrátil, enquanto o produto 12 apresenta um bico rosqueado sob a tampa, conforme Figuras 27 e 28.



Figura 26: Tampa com trava e bico retrátil do produto 11

Fonte: Registro próprio



Figura 27: Tampa com lacre e bico com rosca do produto 12

Fonte: Registro próprio

5.13. Avaliação Econômica

Conforme explicado na metodologia, a avaliação econômica baseou-se na busca por correlação entre o preço de aquisição dos produtos e os resultados obtidos para as propriedades analisadas. No gráfico 31 são apresentados os preços de aquisição dos 12 produtos avaliados no presente estudo.

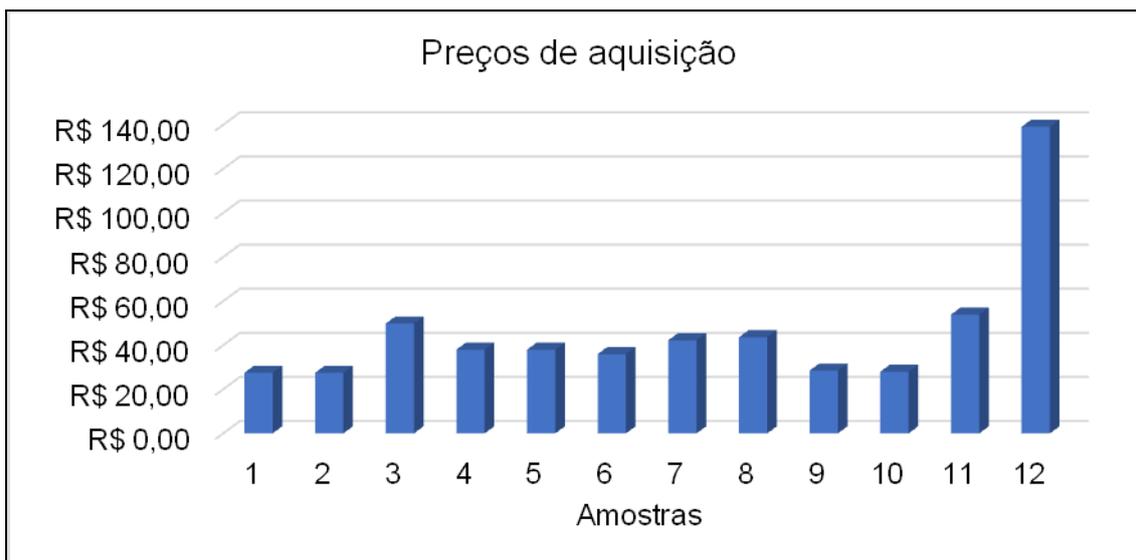


Gráfico 31: Preços de aquisição dos 12 produtos avaliados

Fonte: Elaboração própria

Nota-se de maneira bastante evidente que o valor de aquisição do produto 12 foi muito acima da média dos demais produtos avaliados, o que pode ter sido uma questão pontual, já que não houve uma pesquisa de preços aprofundada para a compra dos produtos. Mesmo assim, pode-se destacar que, juntamente com o produto 11, este óleo busca se posicionar como produto de qualidade superior através do emprego de embalagens diferenciadas, podendo justificar o valor mais alto identificado. Este produto apresentou um dos mais altos índices de viscosidade, boa estabilidade ao cisalhamento, alta viscosidade HTHS, alto ponto de fulgor e menor densidade, indicando a utilização de óleos básicos sintéticos, possivelmente grupo III. Porém, deve ser ressaltado também que este produto foi justamente o que apresentou maior desvio em relação aos limites de especificação para formação de espuma, sequência II, além de um dos valores mais altos de ponto de fluidez, o que não justificaria o investimento em sua aquisição.

De modo a obter uma comparação estatística mais adequada dos valores médios dos produtos estudados, foi plotado o gráfico 32, excluindo-se o valor do produto 12.

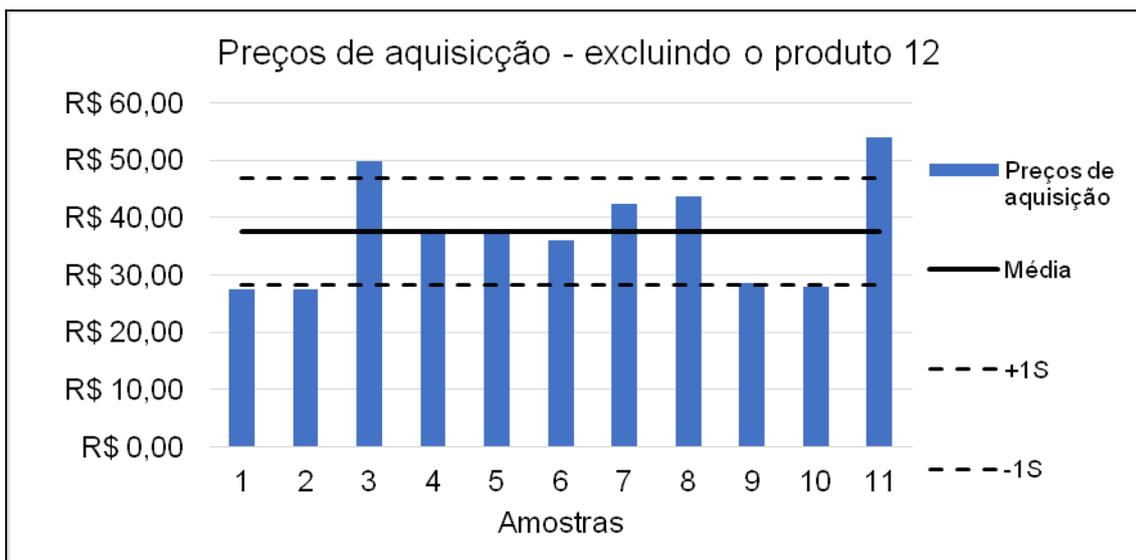


Gráfico 32: Preços de aquisição, excluindo o produto 12

Fonte: Elaboração própria

Nesse cenário, os preços variam de R\$ 27,50 nos produtos 1 e 2 à R\$ 53,90 para o produto 11, com média de R\$ 37,55 e desvio padrão de R\$ 9,25. O produto 11 destacou-se como o mais caro. Este produto apresentou o melhor índice de viscosidade, garantindo um bom desempenho em ampla faixa de temperaturas, evidenciado pelo ótimo resultado de viscosidade CCS a -25°C. Além disso, foi a amostra que apresentou o menor percentual de queda de viscosidade no ensaio de estabilidade ao cisalhamento, indicando a utilização de um MIV de boa qualidade, cujos polímeros não foram severamente degradados ao longo dos 30 ciclos. Outro ponto positivo notado foi o seu alto teor de zinco, indicando bom desempenho na proteção contra o desgaste do motor. Quanto à formação de espuma, o produto 11 também obteve resultados enquadrados nos limites de especificação e sua embalagem foi diferenciada das demais, tudo isso justificando esse alto valor cobrado frente aos excelentes resultados em todos os testes já discutidos.

Em seguida, o produto 3 também apresenta um preço bem alto em relação aos demais, acima de um desvio padrão. Nesse caso, porém, este valor aparentemente não se justifica, pois, o produto 3 apresentou o menor valor de todas as análises envolvendo viscosidade, valores de formação de espuma e teor de fosforo limítrofes a especificação, além de baixos teores de zinco.

Em relação aos produtos mais baratos, a amostra 1 apresenta-se como um produto de bom custo-benefício, uma vez que apresentou resultados satisfatórios em todos os ensaios realizados, com destaque para o índice de viscosidade, que foi o segundo mais alto entre os produtos avaliados, ausência total de formação de espuma e presença de titânio em sua tecnologia de modificação de atrito. Como principal fraqueza deste produto, destaca-se a alta queda percentual de viscosidade no ensaio de estabilidade ao cisalhamento, sinalizando certa fragilidade dos polímeros do MIV na comparação com o dos concorrentes.

O produto 2 também se apresenta como uma opção de bom custo-benefício. Apesar de ter apresentado um dos resultados mais baixos de viscosidade cinemática a 100°C entre os produtos avaliados, sua viscosidade após o ensaio de estabilidade ao cisalhamento manteve-se alinhado com a média dos demais produtos e acima dos valores mínimos exigidos. Um ponto de destaque deste produto foi a sua alta presença de molibdênio, indicando uma diferenciação em sua tecnologia de modificação de atrito. Os resultados de formação de espuma também são um ponto positivo do produto 2, que ficaram dentro dos limites de especificação.

As amostras 9 e 10, apesar do bom preço, ficaram desenquadradas na sequência II do ensaio de formação de espuma. A amostra 9 também se destaca negativamente por apresentar a segunda maior percentagem de queda de viscosidade no ensaio de estabilidade ao cisalhamento, tendo um desempenho melhor apenas que a amostra 1.

6. CONCLUSÕES

Foi possível realizar o estudo comparativo dos óleos de motocicletas SAE 10W-30, notando-se que, de maneira geral, todos os produtos avaliados apresentaram bons resultados frente aos limites estabelecidos pelas normas de desempenho aplicáveis, conferindo as especificações mínimas desejáveis aos produtos comerciais, com exceção ao atendimento do ensaio de formação de espuma, no qual foram observados quatro produtos reprovados na sequência II e um produto reprovado na sequência III.

Com base na avaliação estatística conduzida foi possível relacionar os resultados de diferentes propriedades físico-químicas dos produtos e fazer inferências sobre suas formulações. Foi possível notar que, apesar das semelhanças físico-químicas dos 12 produtos, há detalhes sutis que destacam as diferenças de tecnologia empregadas em cada um dos produtos, como os diferentes perfis de teores de metais de aditivação, os diferentes índices de viscosidade e os diferentes desempenhos de estabilidade ao cisalhamento. A viscosidade CCS a -25°C e a perda por evaporação foram as propriedades que apresentaram maior variação relativa entre os produtos.

A análise da qualidade das embalagens, suas dimensões e material empregado nos rótulos permitiu notar a importante relação entre as embalagens apresentadas ao consumidor e o posicionamento de preço do produto, com destaque para os produtos 11 e 12, que apresentam tampas inovadoras, rótulos em filme e os mais altos preços observados.

Foi possível relacionar os preços comerciais de aquisição dos produtos com as características analisadas, indicando coerências e incoerências observadas, permitindo uma identificação das características físico químicas importantes para uma relação custo/benefício mais eficiente.

O índice de viscosidade, a estabilidade ao cisalhamento e os teores de elementos de aditivação destacaram-se como propriedades físico-químicas importantes no desempenho do produto, justificando o perfil de preços observado. A formação de espuma foi um ponto crítico, uma vez que tanto o produto mais caro, quanto alguns dos mais baratos, apresentaram resultados fora de especificação nessa característica.

7. SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros pode-se citar:

- Estudar o efeito de altos teores de fósforo e zinco em lubrificantes no envenenamento dos catalisadores e as consequências para as emissões do motor e, conseqüentemente, ao meio ambiente;
- Relacionar a estabilidade ao cisalhamento de óleos lubrificantes com o teor de MIV presente em suas formulações e com o tipo de polímero usado;

- Avaliar o uso de diferentes modificadores de atrito no desempenho de óleos para motocicletas.

8. REFERÊNCIAS

ABID, Hasan Muhamad *et al.* Effect of Passenger Car Oil Usage in a Motorcycle Engine. **Int J Recent Technol Eng (IJRTE)**, v. 8, n. 4, 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURA E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. **Painel Dinâmico do Mercado Brasileiro de Lubrificantes**, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-dinamicos-do-abastecimento/painel-dinamico-do-mercado-brasileiro-de-lubrificantes>. Acesso em 02. abr. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURA E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. **Relatório Técnico nº 2/2016/SBQ/CPT – DF Panorama dos óleos básicos no Brasil**, 2016

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE – API. **Categorias de óleo**. 2021. Disponível em: <https://www.api.org/products-and-services/pt/eolcs-oil-categories#tab-gasoline>. Acesso em 15.abr. 2022.

ALMEIDA, Marcelo Oliveira Queiroz de. **Avaliação das influências de variáveis composicionais na formulação de óleos lubrificantes industriais usando design de experimentos**. Rio de Janeiro, 2019.

ASTM D445, **Standard test method for kinematic viscosity of transparent and opaque liquids** (and Calculation of Dynamic Viscosity), 2019.

ASTM D4951, **Standard test method for determination of additive elements in lubricating oils by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry**, 2019.

BADERNA D., BORIANI E., GIOVANNA F. D., BENFENATI, E. **Lubricants and Additives: A point View**. Production Usage and Environmental Occurrence, Berlin, Springer –Verlag, 2011.

BARTELS, W. BOCK, J. BRAUN, C. BUSCH, W. BUSS, W. DRESEL, C. FREILER, M. HARPERSCHIED, R.-P. HECKLER, D. HÖRNER, F. KUBICKI, G. LINGG, A. LOSCH, R. LUTHER, T. MANG, S. NOLL, J. OMEIS, **Lubricants and Lubrication**, in **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2000.

BOGATU, L. Influence of Chemical Structure Changing on Lubricants Behavior in Service. **Revista de Chimie**, 65 (10), 1230, 2014.

BRASIL. **Portaria INMETRO nº 248 de 17/07/2008**. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=207765>. Acesso em: 25.jun.2022

CANCHUMANI GAL. **Óleos Lubrificantes Usados: um Estudo de Caso de Avaliação de Ciclo de Vida do Sistema de Refino no Brasil**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2013.

CANNON INSTRUMENT COMPANY. 2022. **CCS-2100**. Disponível em: <https://cannoninstrument.com/ccs-2100.html><https://cannoninstrument.com/hths-series-ii-115v-50-60-hz9728-c35.html>. Acesso em: 16.jun.2022

CANNON INSTRUMENT COMPANY. 2022 **HHS SERIES II**. Disponível em: < <https://cannoninstrument.com/hths-series-ii-c35.html>. Acesso em: 16.jun.2022

CARRETEIRO, R., BELMIRO, P. Lubrificantes & Lubrificação Industrial. **Interciência**. Rio de Janeiro, Interciência 2006.

CHEN, Wuhua; ZHAO, Zongchang; YIN, Caoyong. **The interaction of waxes with pour point depressants**. Fuel, v. 89, n. 5, p. 1127-1132, 2010.

CHEVRON BASE OILS. **Group II/II+ Typical Properties**. Disponível em: <https://chevronbaseoils.force.com/s/typicals>. Acesso em 04.jul.2022

CHEVRON BASE OILS. **Nexbase 3043 Specifications & Typical Properties**. Disponível em: <https://chevronbaseoils.my.salesforce.com>. Acesso em 04.jul.2022

CHEVRON BASE OILS. **Nexbase 3050 Specifications & Typical Properties**. Disponível em: <https://chevronbaseoils.my.salesforce.com/sfc/>. Acesso em 04/07/2022

CHEVRON BASE OILS. **Nexbase 3060 Specifications & Typical Properties**. Disponível em: <https://chevronbaseoils.my.salesforce.com0clb2/a/4M0000005p> Acesso em 04.jul.2022

DAS, Tapan. **Synthesis and characterization of polymeric additives for lubricating oil**. 2011. Tese de Doutorado. University of North Bengal.

DUCOM. **Diesel injector based Shear Stability Tester for polymer containing fluids**. 2022. Disponível em: < <https://www.ducom.com/product-shear-stability-tester-diesel-injector>>. Acesso em: 16. jun. 2022

GHOSH, P.; PANTAR, A.V.; RAO, U.S.; Sarma, A.S. Shear stability of polymers used as viscosity modifiers in lubricating oils. Indian J. **Chem. Technol.** 1998, 5, 309–314.

HENDERSON, Kenneth O. **Pumping Viscosity by Mini-Rotary Viscometer: Critical Aspects**. ASTM International, 1992.

HOANG, Anh Tuan; PHAM, Van Viet. A study of emission characteristic, deposits, and lubrication oil degradation of a diesel engine running on preheated vegetable oil and diesel oil, Energy Sources, Part A. **Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, 2019, 41:5, 611-625

ISHIKAWA, Masami *et al.* Introduction of fuel economy engine oil performance target with new SAE viscosity grade. **SAE International Journal of Fuels and Lubricants**, v. 9, n. 2, p. 374-382, 2016.

ISOBE, Tadao *et al.* **Four Stroke Cycle Gasoline Engine Oils for Motorcycle**. In: Small Engine Technology Conference & Exposition. 2004.

JASO. **T903:2016 – Motorcycles – Four-Stroke Cycle Gasoline Engine Oils**. Implementation Manual, 2018.

JUNG, Kang - Min *et al.* Synthesis of methacrylate copolymers and their effects as pour point depressants for lubricant oil. **Journal of applied polymer science**, v. 120, n. 5, p. 2579-2586, 2011

KASAI, M., ISHIKAWA, M., AND MIYAJI, T., Effect of Engine Oil Additives on Motorcycle Clutch System. **SAE Technical Paper** 2003-01-1956, 2003, <https://doi.org/10.4271/2003-01-1956>.

KANIA, D. *et al.* **A review of biolubricants in drilling fluids: Recent research, performance, and applications**. Malásia: Elsevier, 2015.

LIPING, Wang *et al.* Effects of phosphorus-free antioxidants on oxidation stability and high-temperature tribological properties of lubricants. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. **Journal of Engineering Tribology**, v.231, n.12, p.1527-1536.2017

LUBE-TECH. **The Impact of SAE Critical Specifications to the formulating and manufacture of automotive oils**, 2017. Disponível em: <http://www.lube-media.com/wp-content/uploads/2017/12/Lube-Tech-113-The-Impact-of-SAE-Critical-Specifications-to-the-formulating-and-manufacture-of-automotive-oils.pdf> Acesso em 13. abr. 2022.

LUBRIZOL. **SAE J300 A Critical Standard**, 2015. Disponível em: <https://360.lubrizol.com/2015/SAE-J300-A-Critical-Standard> Acesso em: 13.abr. 2022

MELACHUS, M. F. V; TEIXEIRA, R. M; VISCARDI, S. L. C. Influência dos óleos básicos no desempenho de lubrificantes de motor. **Blucher Engineering Proceedings**, v.2, n.1, 2015.

MOHAMAD, S. A., AHMED, N. S., HASSANEIN, S. M., & RASHAD, A. M. (2012). Investigation of polyacrylates copolymers as lube oil viscosity index improvers. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, 100, 173–177. doi:10.1016/j.petrol.2012.06.015

PAC. **HVM 472**: Multirange Viscometer. 2022. Disponível em: <https://www.paclp.com/lab-instruments/brand/herzog/product/23/hvm-472-multirange-viscometer>. Acesso em 16.jun.2022

PAPAY, A. G. **Antiwear and extreme-pressure additives in lubricants.** *Lubrication Science*, 10(3), 209–224. 1998. doi:10.1002/ls.3010100304

PORTAL LUBES. **Mercado Brasileiro de Lubrificantes 2021-01**, 2021. Disponível em: <https://portallubes.com.br/2021/10/mercado-brasileiro-de-lubrificantes-2021-01/>. Acesso em: 04.abr. 2022.

PORTAL LUBES. **Modificadores de Índice de Viscosidade**, 2021. Disponível em: <https://portallubes.com.br/2021/10/modificadores-de-indice-de-viscosidade/>. Acesso em 04. abr.2022.

RANGEL, Maria do Carmo; CARVALHO, Marly Fernandes Araújo. Impacto dos catalisadores automotivos no controle da qualidade do ar. *Química Nova*, v. 26, p. 265-277, 2003.

REYES M, NEVILLE A. **The effect of anti-wear additives, detergents and friction modifiers in boundary lubrication of traditional Fe-base materials.** Tribology series. Elsevier; 2003.

RUDNICK, L. R., BUCHANAN, R. P., MEDINA, F. Evaluation of oxidation-mediated volatility of hydrocarbon lubricant base fluids, *Journal of Synthetic Lubrication* 23(1), 11-26.2006

RUDOLPH RESEARCH ANALYTICAL. **Medidor de densidade DDM 2911**.2022. Disponível em: < <https://rudolphresearch.com/pt/products/density-meters/ddm-2911/>> Acesso em: 16/06/2022.

SALAH, Hesham; ELKATORY, Marwa R.; FATTAH, Marwa Abdel. **Novel zinc-polymer complex with antioxidant activity for industrial lubricating oil.** *Fuel*, v. 305, p. 121536, 2021.

SALIH, N., SALIMON, J., ABDULLAH, B.M., YOUSIF, E. Thermo-oxidation, frictionreducing and physicochemical properties of ricinoleic acid based-diester biolubricants. *Arab. J. Chem.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2014>

SARKIS, Jorge Eduardo de Souza *et al.* **Determinação de metais em óleos lubrificantes utilizando a técnica de espectrometria de emissão óptica com plasma induzido por laser.** 2016.

SCHUELTER, Lucas Mello; FERNANDES, Christiane Wenck Nogueira. **Logística reversa de óleos lubrificantes automotivos usados ou contaminados.** Santa Catarina: UFSC, 2010. 31 p

SILVA, J. A. C. **Obtenção de um lubrificante biodegradável a partir de ésteres do biodiesel da mamona via catálise enzimática e estudos de estabilidades oxidativa e térmica.** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ [tese de doutorado], 2012. 188 p.

SPECTRO. **Spectro Arcos**. 2022. Disponível em: <https://www.spectro.com/products/icp-oes-aes-spectrometers/arcos-inductively-coupled-plasma>. Acesso em: 16. jun. 2022

SPIKES, H.A. **Friction Modifier Additives**. Tribol. Lett. 2015, 60, 1–26.

TANNAS CO. & KING REFRIGERATION, INC. **TFAB | Tannas Foam Air Bath**. 2022. Disponível em: <https://www.tannasking.com/laboratory-instruments-accessories/tfab-tannas-foam-air-bath/>. Acesso em: 15.jun.2022.

TANNAS CO. & KING REFRIGERATION, INC. **NOACK S2 Volatility Test**. 2022 Disponível em: <https://www.tannasking.com/laboratory-instruments-accessories/noack-s2/>. Acesso em: 16.jun. 2022.

TANAKA SCIENTIFIC. **Automated 6 positions cleveland open cup flash point tester ACO-T602**. 2022 Disponível em: <https://www.tanaka-sci.com/en/products/aco-t602.php>. Acesso em: 16.jun.2022

UNITED SPECTROMETER TECHNOLOGIES. **MPP 5Gs – ISL – Automatic Cloud & Pour Point Analyser (mini)**. 2022 Disponível em: <https://us-tech.co.za/isl-mpp-5gs-automatic-cloud-pour-point-analyser/>. Acesso em 16.jun.2022

VIJAYARAJ, S. *et al*/ Tribochemical Transformation of Nano TiO₂ to Ilmenite on the Surface of Wearing Steel Parts: Antiwear Action of Nano TiO₂ as an Additive in Engine Oil, 2016. **Tribology Transactions**, 59:3, 435-440, DOI: 10.1080/10402004.2015.1079670

WANG, Shengpei *et al*. Multifunctional lubricant additive derived from polyisobutylene succinimide dispersant. **Journal of Dispersion Science and Technology**, v. 42, n. 3, p. 396-406, 2021.

WATANABE, N., Study of Lower Viscosity Motorcycle Engine Oils for Fuel Saving. **SAE Technical Paper** 2010-32-0123. <https://doi.org/10.4271/2010-32-0123>.

WOLAK, Artur; ZAJĄC, Grzegorz. Cold cranking viscosity of used synthetic oils originating from vehicles operated under similar driving conditions. **Advances in Mechanical Engineering**, 10(11), 2018. 168781401880868.

WU, Y.; KAO, M. Using TiO₂ nanofluid additive for engine lubrication oil. **Industrial Lubrication and Tribology**, Vol. 63 No. 6, 2011. pp. 440-445. 2011. <https://doi.org/10.1108/00368791111169025>

ZADOROZHNYAYA, *et al*, Study of HTHS Viscosity of Modern Motor Oils, **Procedia Engineering**, vol. 150, pp. 602-606, 2016.