



VINÍCIUS TRINDADE DE MELO

**LUBRIFICANTES: PANORAMA, PROCESSO PRODUTIVO E
PERSPECTIVAS DO SETOR**

**LAVRAS - MG
2023**

VINÍCIUS TRINDADE DE MELO

**LUBRIFICANTES: PANORAMA, PROCESSO PRODUTIVO E PERSPECTIVAS DO
SETOR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Engenharia
Química, para obtenção do título de Bacharel.

Prof.^a Dr.^a Natália Maira Braga Oliveira
Orientadora

**LAVRAS - MG
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Melo, Vinícius Trindade de.

Lubrificantes: : Panorama, processo produtivo e perspectivas
do setor / Vinícius Trindade de Melo. - 2023.

71 p. : il.

Orientador(a): Natália Maira Braga Oliveira.

TCC (graduação) - Universidade Federal de Lavras, 2023.
Bibliografia.

1. Óleos básicos. 2. Aditivos. 3. Rerrefino. I. Oliveira, Natália
Maira Braga. II. Título.

VINÍCIUS TRINDADE DE MELO

LUBRIFICANTES:

PANORAMA, PROCESSO PRODUTIVO E PERSPECTIVAS DO SETOR

LUBRICANTS:

OVERVIEW, PRODUCTION PROCESS AND PERSPECTIVES OF THE SECTOR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Engenharia
Química, para obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 28 de fevereiro de 2023.

Dr.^a Natália Maira Braga Oliveira – UFLA

Dr.^a Cristiane Alves Pereira – UFLA

Renan Medeiro Campbell – UFF

Prof.^a Dr.^a Natália Maira Braga Oliveira
Orientadora

LAVRAS - MG
2023

RESUMO

Os lubrificantes são tão importantes para sistemas mecânicos como qualquer um de seus componentes, pois proporcionam maior durabilidade e eficiência. A revolução industrial e o desenvolvimento do setor automotivo impulsionaram a busca por lubrificantes cada vez melhores e mais específicos, de acordo com cada cenário de operação. Por isso, estudos nessa área, que envolve termos e noções particulares, são muito importantes, para garantir que esses produtos acompanhem o desenvolvimento dos sistemas mecânicos de forma geral, permitindo assim que o atrito entre as peças não seja um empecilho. Neste trabalho, são abordados os conceitos básicos referentes aos lubrificantes, trazendo também um contexto histórico do setor, desde seus primeiros usos. Após apresentar de forma clara a definição, são discutidas as principais propriedades e classificações dos lubrificantes, trazendo uma noção mínima para que o leitor compreenda a ficha técnica de um lubrificante e a importância das informações contidas nela. A principal propriedade é o índice de viscosidade, e baseada nela têm-se as principais classificações dos lubrificantes, que são as da API (*American Petroleum Institute*) e da SAE (*Society of Automotive Engineers*). Na sequência, o foco é apresentar o processo produtivo dos lubrificantes, sendo abordados temas como composição e as matérias-primas utilizadas, processos de refino e mistura. Considerando o volume de mercado, os lubrificantes de base mineral são mercados com maior relevância. Entretanto, cada vez mais os lubrificantes sintéticos ganham força, pela sua maior qualidade, apesar do maior custo. Existem diversas resoluções da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) que regulam esse mercado, sendo algumas delas também apresentadas neste trabalho. Além disso, existem metas de coletas que podem ser encontradas nos painéis dinâmicos da ANP, sendo que o volume de lubrificante coletado vem crescendo ao longo dos anos. Por fim, são explicitadas perspectivas para o setor, trazendo também dados que demonstram um panorama do mercado atual. Conclui-se que há uma expectativa de crescimento para o mercado de lubrificantes para os próximos anos, tanto em relação ao mercado global quanto ao mercado brasileiro, sendo que o aumento da venda de motos em função do crescimento do ramo de *delivery* em 2021 contribuiu para mitigar os impactos da pandemia nesse setor.

Palavras-chave: Óleos básicos. Aditivos. Rerrefino. Petróleo.

ABSTRACT

Lubricants are just as important for mechanical systems as any of its components, as they provide greater durability and efficiency. The industrial revolution and the development of the automotive sector have driven the search for ever better and more specific lubricants, according to each operating scenario. That's why studies in this area, which involves terms and concepts, are very important, to ensure that these products keep pace with the development of mechanical systems in general, allowing friction between parts to not be a hindrance. In this work, the basic concepts related to lubricants are discussed, also bringing a historical context of the sector, from its earliest uses. After presenting a clear definition, the main properties and classifications of lubricants are discussed, bringing a minimum understanding for the reader to understand the technical data sheet of a lubricant and the importance of the information contained in it. The main property is the viscosity index, and based on it, the main classifications of lubricants are the API (American Petroleum Institute) and the SAE (Society of Automotive Engineers). Next, the focus is to present the production process of lubricants, discussing topics such as composition and raw materials used, refining and blending processes. Considering the market volume, mineral-based lubricants are the most relevant markets. However, synthetic lubricants are gaining more and more strength due to their higher quality, despite the higher cost. There are various resolutions from the National Agency for Oil, Natural Gas and Biofuels (ANP) that regulate this market, some of which are also presented in this work. In addition, there are collection targets that can be found in the ANP's dynamic panels, and the volume of lubricant collected has been growing over the years. Finally, perspectives for the sector are explained, bringing data that demonstrates a current market overview. It is concluded that there is an expectation of growth for the lubricants market in the coming years, both in relation to the global market and the Brazilian market, and that the increase in motorcycle sales due to the growth of the delivery sector in 2021 has contributed to mitigating the impacts of the pandemic in this sector.

Keywords: Base oils. Additives. Re-refining. Petroleum.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - O primeiro poço de petróleo.	13
Figura 2 – Lubrificante Gargoyle 600w Steam Cylinder Oil (a) e (b) publicação na revista	14
Figura 3 - Perfil de rugosidade em um material.	16
Figura 4 - Aplicação de um lubrificante entre superfícies.....	17
Figura 5 - Aplicação de graxa em um rolamento	18
Figura 6 - Esquema ilustrativo da camada de lubrificante entre superfícies ilustrando os atritos (a) sólido e (b) fluido	19
Figura 7 - Lubrificação em um sistema rotativo (a) em repouso e (b) em movimento.	20
Figura 8 – Óleo sintético 5W-30 produzido pela Moove Lubrificantes.....	31
Figura 9 - Recorte da FISPQ do produto Lubrax Tecno 15W40.....	33
Figura 10 – Diferentes cenários de completção de um poço de petróleo.	38
Figura 11 - Esquema de um vaso separador trifásico horizontal.....	39
Figura 12 - Produção de óleo básico mineral através da rota solvente.....	40
Figura 13 – Usos das frações do petróleo de acordo com o tamanho da cadeia carbônica.	42
Figura 14 - Produção de óleo básico mineral através da rota de hidrorrefino.....	44
Figura 15 - Equipamento automático de mistura de óleo base aos aditivos.....	46
Figura 16 - Uso de lubrificantes na estampagem	47
Figura 17 - Presença dos principais aditivos utilizados em lubrificantes.....	48
Figura 18 - Unidade de fabricação e envase de lubrificantes da Tamco	49
Figura 19 - Graxa Shell Gadus S1	51
Figura 20 - Teste tribológico a) <i>pin and vee block</i> b) <i>block on ring</i> c) <i>four ball</i> d) <i>Block on ring</i>	53
Figura 21 - Comparativo das formas de obtenção de óleos básicos no Brasil de acordo com o volume (m ³), nos anos de 2016 e 2020	55
Figura 22 – Percentual de participação das empresas no mercado brasileiro de lubrificantes.....	56
Figura 23 - Projeção da demanda de óleos básicos por grupo API.	57
Figura 24 - Evolução do volume de lubrificantes no mercado brasileiro.....	58
Figura 25 - Volume comercializado de lubrificantes no Brasil em 2020, em milhões de m ³ , acordo com os meses do ano.	59
Figura 26 - Evolução do percentual de lubrificantes coletados no mercado brasileiro.....	60
Figura 27 - Fluxograma do processo de rerrefino.	63
Figura 28 - Produção de óleos básicos por rerrefino no Brasil.	64

Figura 29 – Evolução da produção de derivados do petróleo.....	65
Figura 30 – Distribuição, de acordo com o uso, da produção de derivados não energéticos do petróleo em 2021 (%)	66
Quadro 1 - Exemplos de lubrificantes de diferentes estados físicos.....;	18
Quadro 2 - Resumo de propriedades dos lubrificantes.....	26
Quadro 3 - Comparação das características de óleos parafínicos e naftênicos.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficiente de atrito em distintos cenários de lubrificação.	21
Tabela 2 - Dosagem dos principais aditivos nos lubrificantes.	29
Tabela 3 - Classificação API dos lubrificantes.....	30
Tabela 4 - Características típicas do lubrificante Havoline® Ultra W SAE 5W-40.	34
Tabela 5 - Aplicações comerciais dos derivados do petróleo de acordo com a faixa de destilação.	41
Tabela 6 - Testes tribológicos para a avaliação da lubricidade de biolubrificantes,	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	HISTÓRICO	12
3	DEFINIÇÕES BÁSICAS	16
4	PROPRIEDADES DOS LUBRIFICANTES	23
4.1	Viscosidade	23
4.2	Índice de viscosidade	23
4.3	Ponto de fluidez.....	24
4.4	Ponto de fulgor.....	25
4.5	Propriedades complementares	25
5.	COMPOSIÇÃO, CLASSIFICAÇÕES E DOCUMENTAÇÃO.....	27
5.1	Composição	27
5.2	Classificações.....	29
5.3	FISPQ	32
5.4	Ficha técnica.....	33
6	ÓLEOS BÁSICOS.....	36
6.1	Petróleo	36
6.2	Minerais.....	39
6.3	Sintéticos.....	45
6.4	Vegetais.....	45
7	PROCESSOS PRODUTIVOS.....	46
8	GRAXAS LUBRIFICANTES	50
9	TRIBOLOGIA	52
10	O MERCADO DE LUBRIFICANTES E PROJEÇÕES	55
11	IMPACTOS AMBIENTAIS E LOGÍSTICA REVERSA	61
11.1	Óleos lubrificantes usados e/ou contaminados (OLUC)	61
11.2	Rerrefino	62
11.3	Perspectivas para o setor	64
12	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
	REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

Lubrificantes são substâncias cuja principal função é reduzir o desgaste causado pelo contato de superfícies, sendo pelo menos uma delas móvel. A palavra lubrificante deriva-se do termo em latim “*lubricare*”, cuja tradução é “torna-se escorregadio” (COSAN, 2013).

Os primeiros registros do uso de lubrificantes são datados por volta de 2600 a.C., com emprego da gordura vegetal em bigas egípcias, de forma que no decorrer dos séculos, sua utilização era pontual, assumindo um papel de coadjuvante (COSAN, 2013). Entretanto, com a revolução industrial e avanços da tecnologia das máquinas industriais, os lubrificantes assumiram protagonismo, sendo necessários padrões cada vez maiores de qualidade, de modo que o petróleo passou a ser utilizado com essa finalidade, no primeiro momento, na forma que ele era encontrado. Com o tempo, percebeu-se que, com o processamento do petróleo, era possível melhorar suas propriedades e obter lubrificantes mais eficientes (COSAN, 2013).

Dessa forma, o petróleo extraído após a perfuração de um poço passa por um processo de separação, baseado no ponto de ebulição de seus componentes, sendo primeiro realizado um processamento primário, separando o óleo bruto do gás natural e da água. Inicialmente, utilizavam-se como lubrificantes os óleos extraídos praticamente sem refino, entretanto, como o consumo de petróleo cresceu drasticamente no século seguinte, principalmente como fonte de energia, e impulsionado pela revolução industrial, os processos de refino foram sendo aprimorados, melhorando assim a qualidade e pureza dos produtos dele extraídos (GAUTO; ROSA, 2013). É importante ressaltar que para cada derivado do petróleo desejado, haverá processos e custos específicos envolvidos, que também dependem da qualidade da matéria-prima, tendo em vista que sua composição é variável.

Atualmente, os lubrificantes são misturas de óleos básicos, representando entre 70% e 99% de sua composição, e aditivos, que têm a finalidade de aprimorar alguma propriedade específica. Existem vários tipos de aditivos, como detergentes, antioxidantes e dispersantes, que são usados de forma combinada, gerando uma grande diversidade de compostos (BART; GUCCIARDI; CAVALLARO, 2013). Sendo assim, para cada aplicação, há um tipo de lubrificante adequado e, para determiná-lo, são necessários testes tribológicos, isto é, ensaios que avaliam as propriedades dos lubrificantes em determinadas condições.

Os lubrificantes podem ser sintéticos, minerais ou vegetais, a depender do tipo de óleo básico utilizado em sua produção. Os óleos básicos minerais são obtidos quase que essencialmente através do refino do petróleo e podem ser produzidos a partir de duas rotas: a

solvente ou por hidrorrefino, sendo os óleos obtidos diferentes em sua composição, de acordo com a matéria-prima e o processo utilizados (FARAH, 2012). Com o avanço tecnológico e a busca contínua por alternativas ao petróleo, que é um recurso natural não renovável e que causa muitos impactos negativos no meio ambiente, surgiram os óleos sintéticos, produzidos a partir de reações químicas e processos mais complexos, entretanto, utilizando principalmente o petróleo como matéria-prima. Devido a sua forma de obtenção, eles têm uma melhor qualidade, maior biodegradabilidade e não são tóxicos, mas têm um preço mais elevado (ENGEOIL, 2019). Há também óleos conhecidos como semissintéticos, sendo uma mistura de óleos minerais e sintéticos, com pelo menos 10% de sintéticos, segundo Resolução da Associação Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) nº 804, publicada em 2019 (ANP, 2019a). Já os lubrificantes produzidos a partir de óleos vegetais, ou biolubrificantes, são apontados como o futuro do mercado; no entanto, ainda é necessário investimento em pesquisa para que se tornem competitivos, pois eles têm algumas restrições relacionadas com sua resistência à temperatura e com sua estabilidade à oxidação (MATOS, 2020).

Segundo relatório global da *Grand View Research Inc.* (GVR) publicado em 2021, o mercado global de lubrificantes cresceu a uma taxa de 2,4% ao ano entre os anos de 2015 e 2021. Espera-se que o crescimento das vendas de automóveis aumente o crescimento da indústria global de lubrificantes a uma taxa 3,7% de 2021 a 2028. Já no Brasil, houve uma taxa de crescimento do volume de vendas de lubrificantes no fechamento de 2021 de 9,4% em relação ao ano anterior, segundo Portal Lubes (2021), mostrando grande recuperação, pois 2020 foi o ano de auge da pandemia de Covid-19 e teve uma baixa global na indústria automotiva de cerca de 23% (GVR, 2021), que, conseqüentemente, refletiu no mercado de lubrificantes.

Portanto, há grandes expectativas em relação a esse mercado, tanto pela busca crescente por lubrificantes quanto pelo interesse no desenvolvimento de novos produtos, cada vez menos poluentes e mais eficientes. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo realizar um levantamento bibliográfico sobre lubrificantes de forma geral, de maneira a apresentar o histórico de seus usos e formas de obtenção, suas propriedades, classificações, os principais processos envolvidos em sua produção e um panorama de mercado, a fim de apoiar futuras pesquisas na área.

2 HISTÓRICO

De acordo com Carreteiro e Belmiro (2006), o uso mais antigo de um lubrificante, que se tem registro, ocorreu no Egito, por volta de 2600 a.C., quando se utilizava gordura animal para facilitar o movimento de veículos feitos de madeira, conhecidos como bigas egípcias. A gordura animal perdurou como principal lubrificante por quase quatro milênios, sendo utilizada em moinhos, meios de transporte como carruagens, portas, dentre outros.

Por muitos séculos, não houve uma evolução significativa na qualidade dos lubrificantes ou uma preocupação com a substituição da matéria-prima, pois conforme será detalhado posteriormente, os avanços mais relevantes ocorreram nos anos que sucederam a revolução industrial, ou seja, antes desse marco histórico, a demanda por lubrificantes não era expressiva. Além desse marco, em 1771, foi criado o primeiro automóvel do mundo, por *Nicolas Cugnot* e, no início do século XX, Henry Ford deu início a um movimento de produção em massa desses veículos (COSAN, 2013). Ainda segundo o livro publicado pela Cosan (2013), em um veículo há em média “mais de dois mil pontos de fricção que necessitam de lubrificação”, de forma que o crescimento do setor automotivo impacta fortemente o mercado de lubrificantes.

A gordura vegetal foi substituída após a descoberta do petróleo, que ocorreu oficialmente, em 1859, na Pensilvânia, por Edwin L. Drake: o primeiro a realizar a perfuração de um poço para sua posterior extração (FARAH, 2012), fato ilustrado na Figura 1, que iniciou uma incessante busca pelo “ouro negro” (GAUTO; ROSA, 2013). Apesar disso, antes desse marco histórico, o recurso já era conhecido e utilizado na forma de betume como substituto da gordura vegetal em algumas situações, mas sendo sempre encontrado em pequenas quantidades.

Figura 1 - O primeiro poço de petróleo.



Fonte: Grotzinger e Jordan (2013).

Impulsionado pela busca do ouro negro, Matthew Ewing, em meados do século XIX, tentava encontrar um método de refino eficiente para a produção de querosene, que foi o primeiro derivado do petróleo que ganhou notoriedade (COSAN, 2013). Ewing então refinou o petróleo com um método de destilação a vácuo, que acabou não dando certo para a produção de querosene, por gerar uma quantidade muito pequena, mas Bond Hiram Everest percebeu que o processo gerava um subproduto com propriedades lubrificantes melhores que todos os lubrificantes conhecidos até então, de forma que a falha se tornou um grande acerto, e juntos, eles criaram a primeira empresa com foco na produção de lubrificantes, a Vacuum Oil, em 1866, sendo o primeiro produto da Ewing's Patent Vacuum Oil, para a preservação de couro, e posteriormente óleos, graxas industriais e lubrificantes para carruagens (COSAN, 2013).

Em 1869, a empresa lançou o Gargoyle 600W Steam Cylinder Oil, cujo desempenho teve destaque ao ser utilizado nas máquinas de vapor em substituição às gorduras vegetais, pois era capaz de suportar suas pressões e temperaturas, o que alavancou o negócio e desde então, trouxe um aspecto de sigilo atrelado a fórmula dos lubrificantes, que se tornavam cada vez mais relevantes (COSAN, 2013). Além disso, o grande sucesso desse lubrificante fez com

que a logo da empresa fosse alterada em 1944 para uma gárgula, fato ilustrado na Figura 2, em que se observa uma lata do lubrificante à esquerda e ao lado, uma publicação sobre o Gargoyle 600w em uma revista de 1922 (COSAN, 2013).

Figura 2 – Lubrificante Gargoyle 600W Steam Cylinder Oil (a) e (b) publicação na revista The Saturday Evening Post (1922).



Fonte: Torensma (2022); Ebay (2023).

Outro diferencial da Vacuum Oil era o suporte técnico oferecido pela empresa, de forma que se analisava as necessidades de cada cliente, indicando um óleo específico para ele (COSAN, 2013). Essa tendência se mantém até os dias de hoje, indo até além, onde as empresas de lubrificantes desenvolvem produtos exclusivos para seus clientes, sendo adaptações dos produtos de seu portfólio. Esses lubrificantes são denominados por “*private label*”, cuja tradução literal é rótulo privado.

Além da revolução industrial, o desenvolvimento do setor automotivo impulsionou o mercado de lubrificantes. Os primeiros veículos utilizavam petróleo bruto como lubrificante, mas ele tinha alguns problemas, como dificuldade de bombeamento para o motor no frio, camada fina de lubrificante e alta taxa de evaporação no calor (COSAN, 2013). Mesmo com a destilação do petróleo, o problema persistia, e só foi contornado quando se utilizou outros componentes em conjunto com esse óleo, os aditivos.

A produção do lubrificante moderno a partir da mistura de óleos básicos lubrificantes e aditivos, será detalhada nos capítulos posteriores. Mas, antes disso, serão apresentadas algumas definições básicas para facilitar o entendimento do conteúdo.

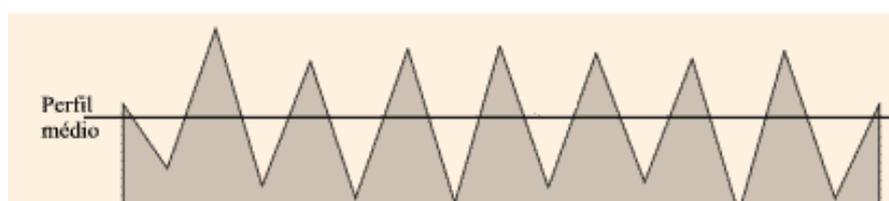
3 DEFINIÇÕES BÁSICAS

Em um conjunto mecânico, quando duas superfícies são colocadas em contato, as forças aplicadas a elas podem ou não ser suficientes para gerar movimento. Enquanto não há movimento, temos uma situação de equilíbrio estático, sendo a força de atrito estática a responsável por esse estado de inércia, como uma força que se opõe ao movimento. Dessa forma, deve-se aplicar uma força maior do que a força de atrito estática para que o sistema se altere de estático para dinâmico, estado esse em que há a presença de movimento. Nesse novo cenário, é necessária uma força menor para garantir que o movimento continue, de forma que a força de atrito dinâmica é menor que a força de atrito estática.

Durante o movimento, o contato entre as superfícies causa desgaste, sendo que sua intensidade varia com as propriedades e interações entre as superfícies. O desgaste pode ser classificado das seguintes formas: no desgaste abrasivo, o contato entre as superfícies faz com que parte dos materiais seja removida; se o fragmento de uma das superfícies se ligar à outra, tem-se o desgaste adesivo; quando ocorre reação química, transformando o material ou parte dele em outro, tem-se o desgaste corrosivo; já o desgaste por fadiga relaciona-se a uma modificação permanente nas propriedades dos materiais, sendo causado pelo alto número de repetições do movimento (ALMEIDA, 2017).

Uma propriedade importante de uma superfície é a rugosidade: uma medida de suas irregularidades, e representa uma resistência, sendo a responsável pelo atrito. Portanto, quanto maior ela for, maior será o coeficiente de atrito e, conseqüentemente, maior o desgaste. Dessa forma, o coeficiente de rugosidade é uma medida que leva em consideração os desvios de relevo de uma superfície, considerando todos os picos e vales de forma a obter um valor médio para uma determinada extensão de material, conforme demonstrado na Figura 3, sendo um valor adimensional. Por exemplo, a rugosidade de um tubo de aço trefilado é de 1,5 μm . Cabe ressaltar que observações a olho nu não fornecem embasamento para conclusões claras a respeito da rugosidade de um material (NASCIMENTO, 2014).

Figura 3 - Perfil de rugosidade em um material.



Fonte: Nascimento (2014).

Com base nessas definições, surge o conceito de lubrificantes, que são materiais que reduzem o desgaste causado pelo atrito gerado pelo contato de superfícies, com pelo menos uma delas em movimento, ou seja, tendo um deslizamento entre elas, conforme ilustrado na Figura 4, em que se tem a aplicação de um lubrificante entre engrenagens que estão em movimento. Segundo Nascimento (2014), gasta-se milhões de dólares por ano para gerar energia com a finalidade de vencer o atrito. Além disso, as máquinas só têm uma funcionalidade eficaz e duradoura devido aos lubrificantes, de forma que eles são tão importantes como qualquer um de seus componentes mecânicos.

Figura 4 - Aplicação de um lubrificante entre superfícies.



Fonte: Karter (2023).

A partir disso, tem-se o princípio da lubrificação enunciado por Nascimento (2014) "coloque o lubrificante certo no lugar certo no momento certo e na quantidade certa". Ou seja, são pelo menos quatro variáveis a se considerar, e para isso, é muito importante conhecer as propriedades dos lubrificantes bem como seu comportamento em um cenário de operação. É válido ressaltar que quando se fala de momento, pode-se estender a definição, não sendo vinculada apenas ao momento da máquina (quando está em operação, precisa de lubrificação), mas também ao momento do lubrificante - uso apenas durante sua vida útil.

O termo lubrificante não necessariamente faz referência à líquidos, apesar de serem os mais comuns, sendo os mais utilizados os lubrificantes produzidos a partir de óleos minerais. Existem situações em que o lubrificante líquido não teria um desempenho aceitável, seja por não possuir uma propriedade específica, como resistência a temperaturas muito elevadas ou

por não ser possível mantê-lo na superfície, sendo assim, utiliza-se uma lubrificação sólida ou semissólida, as graxas, que são produtos obtidos através da mistura de óleos lubrificantes com componentes espessantes (NORTON, 2013). Na Figura 5 é demonstrado a aplicação de uma graxa em um rolamento.

Figura 5 - Aplicação de graxa em um rolamento.



Fonte: Karter (2023).

Segundo Purquério (1998), em raras ocasiões, podem ser utilizados lubrificantes gasosos como ar, hélio, dentre outros. No Quadro 1, há alguns exemplos de lubrificantes comumente utilizados, de acordo com o estado físico, sendo que o foco desse trabalho serão os lubrificantes líquidos.

Quadro 1 - Exemplos de lubrificantes de diferentes estados físicos.

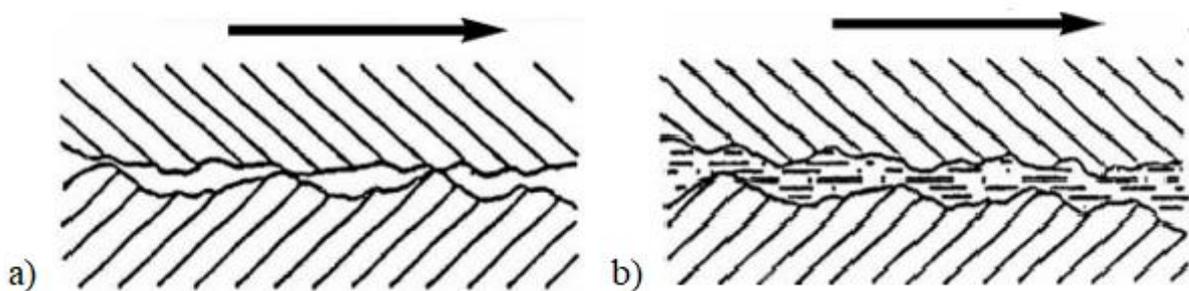
Estado físico	Lubrificantes
Líquido	Lubrificantes acabados de óleos básicos minerais, sintéticos ou semissintéticos
Semissólido	Graxas
Sólido	Grafite, dissulfeto de molibdênio
Gasoso	Ar, gás hélio

Fonte: Do autor (2023).

Ao aplicar o lubrificante, ele formará uma fina camada entre as superfícies, fazendo com que o contato entre elas seja indireto, de maneira que o atrito deixa de ocorrer entre as

superfícies, e passa a ser entre superfície e fluido, entre fluido e fluido e entre fluido e superfície, isso porque, uma parcela do fluido vai se movimentar com uma das superfícies e outra parte com a outra superfície, de maneira que o movimento do fluido não é uniforme. Na Figura 6, pode-se observar um esquema ilustrativo da camada formada. Um fato ilustrado pela imagem, é que em um cenário de lubrificação adequada, a espessura da camada fluido, deve ser maior que a soma das alturas das rugosidades das superfícies (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006), garantindo assim que não haja contato entre elas.

Figura 6 - Representação da camada de lubrificante entre superfícies ilustrando os atritos (a) sólido e (b) fluido.



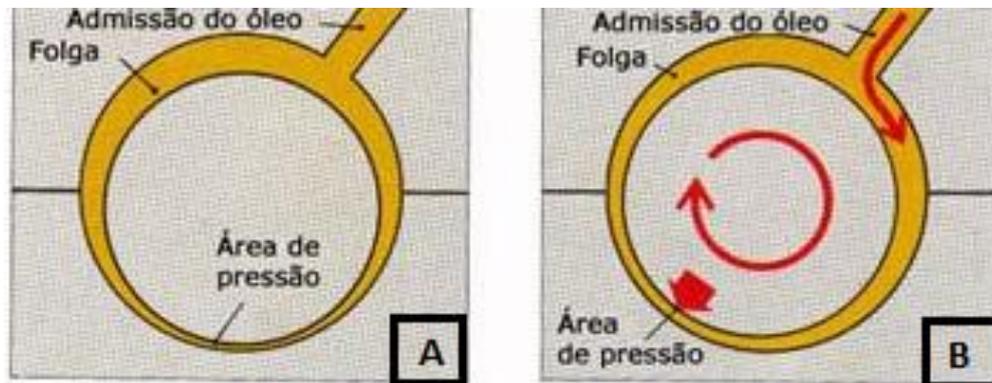
Fonte: Almeida (2017).

A camada de fluido formada entre as superfícies recebe o nome de filme lubrificante (ALMEIDA, 2017). A escolha do método de aplicação do lubrificante depende do tipo de lubrificante, viscosidade, quantidade e custo do dispositivo de lubrificação (SENAI, 1997). Por exemplo, pode-se realizar a aplicação manual, como é feito quando se aplica um lubrificante na dobradiça de uma porta, e nesse caso, o sistema de lubrificação se dá por gravidade. Entretanto exceto em cenários simples como esse, em que a aplicação é feita através de almotolias, esse método não é recomendável, por não produzir uma camada homogênea de lubrificante (SENAI, 1997). Sendo assim, dispositivos devem ser utilizados, dependendo da necessidade, sendo que os sistemas de lubrificação podem ser por gravidade, capilaridade, salpico, imersão ou por sistema forçado (SENAI, 1997).

Na Figura 7, pode-se observar um regime de lubrificação em um sistema rotativo, de forma que na imagem A, o sistema está em repouso. Quando o eixo começa a girar, o fluido que estava em repouso começa a acelerar e ganhar velocidade, de forma a gerar um aumento na pressão hidrostática e os eixos do mancal se tornam concêntricos, conforme observado na

imagem B. Sendo assim, um fino filme lubrificante é formado, impedindo que essas superfícies entrem em contato.

Figura 7 - Lubrificação em um sistema rotativo (a) em repouso e (b) em movimento.



Fonte: Mecânica Caseira (2010).

Esses filmes ou películas podem ser classificados de acordo com o regime de lubrificação em dois tipos segundo Farah (2012): lubrificação limite e lubrificação hidrodinâmica. O primeiro tipo, a lubrificação limite ou limítrofe, são filmes finos cuja película formada não tem espessura suficiente para manter a lubrificação em toda a peça. Essa situação caracteriza um uso de lubrificante que não segue o princípio da lubrificação, ou seja, há um mau uso. O segundo tipo de lubrificação enunciado por Farah (2012) é a hidrodinâmica, em que se tem filmes com espessura o suficiente para lubrificar toda a superfície, sendo essa a lubrificação ideal e desejada nas máquinas. Além dessas duas classificações, Nascimento (2014) aponta mais uma subdivisão, a lubrificação sólida, na qual há presença de filmes sólidos, que de forma geral são formados por graxas, assunto que terá maior detalhamento no Capítulo 8.

Diante do exposto, referente ao conceito de lubrificação, é importante entender seus impactos na prática. Na Tabela 1, tem-se um comparativo do coeficiente de atrito entre duas superfícies de cobre em movimento, a partir de uma carga de 2 kgf (ALMEIDA, 2017). O objetivo dos dados é apresentar que a lubrificação reduz o atrito, mas não o elimina integralmente.

Tabela 1 – Coeficiente de atrito em distintos cenários de lubrificação.

Condição de trabalho	Coeficiente de atrito
Sem lubrificação	1,2
Lubrificação com óleo parafínico	0,2 a 0,3
Lubrificação com parafina refinada	0,2 a 0,3
Lubrificação com ácido graxo	0,1
Lubrificação com sabão de cobre	0,05

Fonte: Almeida (2017).

Além de reduzir o atrito, como apresentado na Tabela 1, o uso do lubrificante tem diversos benefícios, que serão detalhados a seguir. O princípio de conservação de massas, enunciado por Antoine-Laurent de Lavoisier em 1777 afirma que “na natureza, nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”. Dessa forma, o movimento se traduz em conversão de uma fonte de energia em outra, como a mecânica. De acordo com a segunda lei da termodinâmica, tem-se que não é possível construir uma máquina térmica com 100% de eficiência, ou seja, sempre haverá uma perda, representada por uma parcela da energia inicial sendo liberada na forma de calor (BORGNAKKE; SONNTAG, 2018). De maneira que, esse calor liberado, ao invés de aquecer apenas o maquinário, também será absorvido pelo fluido lubrificante, que exerce, portanto, uma função adicional, de controlar a temperatura do sistema (NASCIMENTO, 2014).

Outra vantagem, é a limpeza dos equipamentos e proteção contra corrosão. Isso porque, os lubrificantes, que têm contato direto com a peça, impedem o acúmulo de fragmentos sobre as superfícies e impossibilitam o acesso de impurezas às superfícies, dificultando assim, as reações de oxidação (NASCIMENTO, 2014). Além disso, podem inclusive evitar ruídos, e como exemplo disso, tem-se os ruídos gerados por dobradiças de portas, que podem ser atribuídos aos processos corrosivos e desgaste por fadiga, sendo uma possível solução para essa situação, o uso de um lubrificante.

É importante entender que existem diversos outros cenários, além das máquinas e sistemas mecânicos automotivos e industriais, onde tem-se a presença de um lubrificante. Por exemplo, a lágrima é um lubrificante natural, presente entre duas superfícies, os olhos e as pálpebras, sendo que há movimento em uma delas, nas pálpebras. Nesse caso, a lágrima é o fluido lubrificante e tem o papel de proteger a superfície de impurezas, como partículas de poeira. Outro exemplo comum são os lubrificantes íntimos, geralmente utilizados em regiões

e situações em que a lubrificação natural é insuficiente. Até mesmo quando um barco navega sobre o rio, ele tem uma superfície que está em movimento e o casco não entra em contato com o solo por conta da água, sendo assim, a água está exercendo o papel de um lubrificante, possibilitando o movimento sem contato direto com o solo. O conceito de lubrificante se estende à diversas aplicações cotidianas, que não serão abordados com profundidade nesse trabalho, pois uma parte delas se trata apenas da exemplificação do conceito, enquanto em outras, como a aplicação na pele humana, o aspecto mais importante é a não danificação do órgão, devido à sua sensibilidade, em que os requisitos de desempenho do lubrificante não são tão rígidos, pois não há condições atípicas de pressões e temperaturas. Para entender sobre cada tipo de lubrificante e como eles se comportam quando são utilizados, é necessário um estudo a respeito de suas principais propriedades, que será feito na sequência, sendo que a partir delas, pode-se dizer se um fluido é indicado ou não para uma determinada situação.

4 PROPRIEDADES DOS LUBRIFICANTES

Para entender as classificações dos lubrificantes e como eles são produzidos, é importante conhecer suas propriedades, pois eles são caracterizados a partir delas, de forma que se pode prever se um lubrificante pode ser indicado ou não para um determinado cenário. Nesse capítulo, serão destacadas as propriedades mais relevantes dos lubrificantes. No capítulo seguinte, será apresentada a ficha técnica de um lubrificante, com a finalidade de ilustrar as propriedades mencionadas com exemplos de valores reais.

4.1 Viscosidade

A viscosidade é uma medida da resistência de um líquido a escoar (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006). Ela depende não somente da natureza dos compostos, mas também das condições que eles são submetidos. Isso porque, líquidos com maiores forças intermoleculares, terão maior interação entre as moléculas, maior estabilidade e assim, menor tendência a escoar. Em contrapartida, caso haja um aumento da temperatura, será favorecida a agitação das moléculas, reduzindo as forças intermoleculares e assim, aumentando a viscosidade.

Considerando um cenário de lubrificação fluida entre superfícies, se o fluido tem uma viscosidade alta, significa que ele terá uma baixa velocidade de escoamento, ou seja, vai demorar para cobrir as superfícies, acarretando maior tempo de contato entre elas e, assim, maior desgaste. Entretanto, se a viscosidade é muito baixa, a alta velocidade do fluido fará com que seja formada uma película entre as superfícies muito fina, podendo não ser suficiente para evitar o desgaste, pois, como visto anteriormente na Figura 6, é necessária uma espessura mínima da camada de fluido.

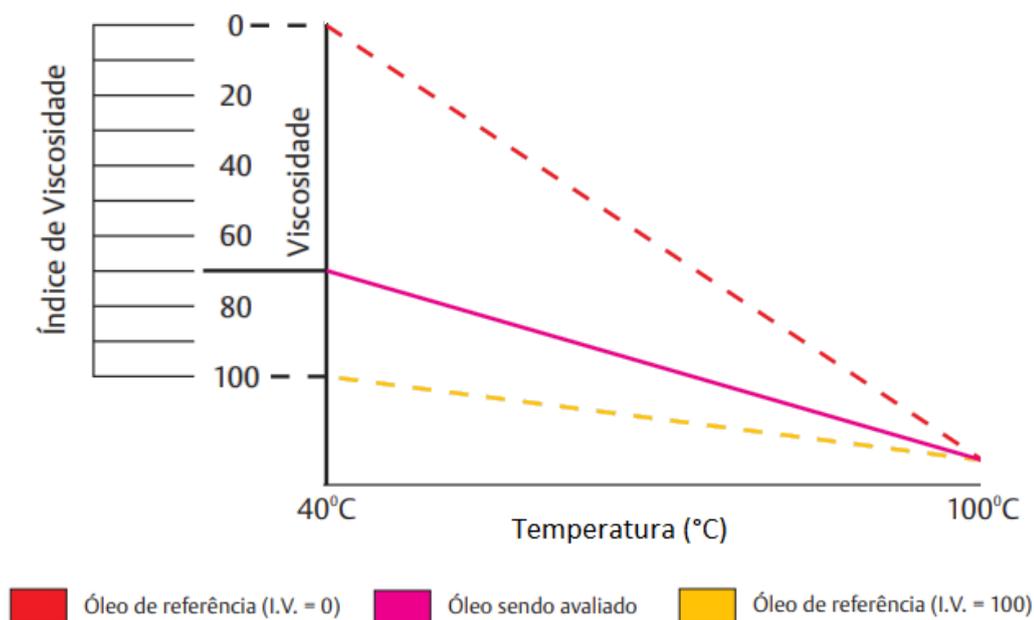
4.2 Índice de viscosidade

Dessa forma, a importância do conhecimento da viscosidade traz consigo muita complexidade e, por isso, uma outra propriedade relacionada a ela também é estudada: o índice de viscosidade, que mede a variação da viscosidade em função da temperatura (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006). Ao ligar um carro, por exemplo, inicialmente o maquinário estará em temperatura ambiente. O líquido vai escoar ao longo do equipamento,

enquanto ocorre um aquecimento, que vai acarretar a redução da viscosidade. E a viscosidade inicial não pode ser muito alta, pois se o carro é acelerado instantaneamente após ligar, haverá desgaste nas peças que ainda não receberam lubrificação. Sendo assim, a propriedade em temperatura tanto ambiente quanto de operação deverá ser avaliada.

De modo que, quanto maior o índice de viscosidade, mais estável é a viscosidade do composto e menos suscetível a variações com mudanças de temperatura. Isso pode ser visto na Figura 8, que ilustra o índice de viscosidade de três óleos diferentes, comparando com a variação da viscosidade em função da temperatura. Observa-se que o óleo de referência em amarelo possui o maior índice de viscosidade, isso é representado pela menor inclinação da reta que relaciona a viscosidade em função da temperatura. Já o óleo de referência em vermelho possui o menor índice de viscosidade e, portanto, sua reta é a mais inclinada, indicando que pequenas variações de temperatura terão maior impacto na viscosidade desse óleo. Enquanto o óleo que está sendo avaliado, em rosa, tem índice de viscosidade intermediário.

Figura 8 -Índice de viscosidade de lubrificantes.



Fonte: Adaptado de Texaco (2010).

4.3 Ponto de fluidez

Outra propriedade importante é o ponto de fluidez. Segundo Carreteiro e Belmiro (2006), essa propriedade equivale à menor temperatura, expressa em °C e sendo um múltiplo

de 3, na qual o fluido ainda flui naturalmente, isto é, escoar apenas com a força da gravidade. Dessa forma, em cenário onde há lubrificação, a temperatura de operação do sistema não pode ser menor que o ponto de fluidez, de maneira que essa propriedade equivale à temperatura mínima do sistema ao qual o lubrificante será aplicado, de maneira que a lubrificação não seja comprometida. Isso porque, caso o sistema operasse abaixo do ponto de fluidez, o fluido lubrificante ficaria estagnado, de forma a não cobrir toda a superfície, gerando uma lubrificação insuficiente.

4.4 Ponto de fulgor

Já o ponto de fulgor é a menor temperatura na qual um fluido, em contato com uma chama na presença de ar, vaporiza-se, inflamando momentaneamente (FARAH, 2012). Esse conceito é diferente do ponto de combustão, que se refere à temperatura mínima na qual os vapores do óleo se queimam de forma contínua, por pelo menos cinco segundos (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

. Sendo assim, a temperatura do ponto de fulgor é um pouco menor que a do ponto de combustão, segundo Carreteiro e Belmiro (2006), cerca de 22 °C a 28 °C menor. O impacto do ponto de fulgor em um sistema de lubrificação operando acima dessa temperatura, equivale à perda das propriedades do lubrificante e, à medida que seus componentes se desprendem, à contaminação do sistema e a condições inseguras geradas por essa inflamabilidade.

Outra propriedade que deve ser distinguida do ponto de fulgor é o ponto de autoinflamação do lubrificante ou o ponto de ignição. Ele se refere à temperatura em que o lubrificante se inflama espontaneamente, sem a presença da chama, ou seja, corresponde a uma temperatura muito maior que o ponto de fulgor (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

4.5 Propriedades complementares

Nos tópicos anteriores, foram discutidas as principais propriedades relacionadas aos lubrificantes. Entretanto, diversas outras podem ser utilizadas como informações adicionais na caracterização de um lubrificante, sendo um resumo de algumas dessas propriedades complementares apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Resumo de propriedades complementares dos lubrificantes.

Propriedade	Descrição
Cor	Lubrificantes podem variar desde transparentes até pretos, sendo o colorímetro <i>Union</i> o equipamento mais utilizado para a determinação da cor.
Grau API	Obtido por uma conversão matemática da densidade relativa do lubrificante.
IAT (Índice de Acidez Total)	Acidez do lubrificante, medida a partir da quantidade de KOH, em miligramas, necessária para neutralizar todos os componentes ácidos de um grama de óleo, até atingir o pH = 11.
IBT (Índice de Basicidade Total)	Basicidade do lubrificante, medida a partir da quantidade de ácido clorídrico necessário para neutralizar todos os componentes básicos de um grama de óleo, até atingir pH = 4.
Insolúveis	Quantidade obtida a partir de testes que verificam a solubilidade do óleo no pentano e no benzeno. É um índice muito utilizado para avaliar a qualidade de um óleo em uso, pois conforme os lubrificantes são utilizados, há um aumento da quantidade de resina advinda da oxidação, além de aumentar também o percentual de contaminantes.
Número de emulsão	Refere-se à facilidade do lubrificante de separar-se da água. Essa característica pode ser desejável ou não, dependendo do cenário de aplicação do lubrificante.
Número de precipitação	Calcula-se o percentual de matérias estranhas no lubrificante. Em um lubrificante novo, esse valor é mais baixo e representa a qualidade de refino do material, enquanto em um lubrificante usado, haverá mais partículas sólidas, provenientes de contaminações devido ao uso.
Número de saponificação	Representa o percentual de gordura presente no composto. É calculado a partir da quantidade, em miligramas de hidrato de potássio, necessária para neutralizar um grama de óleo (saponificação).
Resíduo de carbono	É a quantidade de resíduos que podem ser deixados no equipamento quando uma parcela do lubrificante evapora, devido à temperatura de operação.
Saturação	O percentual de saturação refere-se às ligações simples presentes nos lubrificantes, sendo que quanto maior, melhor o seu desempenho. Isso porque as insaturações advêm principalmente de anéis aromáticos e trazem uma redução no índice de viscosidade, o que piora a estabilidade do composto.
Teor de cinzas	O percentual de cinzas pode ser obtido a partir da queima de uma amostra de lubrificante, sendo que quanto maior o tempo de uso do lubrificante, maior será esse percentual, pois a cinza é composta principalmente por parte dos aditivos e por contaminantes.
Teor de enxofre	O enxofre é um elemento indesejável, de forma que quanto menor sua concentração, melhor será a qualidade do lubrificante.

Fonte: Adaptado de Carreiro e Belmiro (2006).

5. COMPOSIÇÃO, CLASSIFICAÇÕES E DOCUMENTAÇÃO

A partir das principais propriedades dos lubrificantes apresentadas no capítulo 4, pode-se entender o porquê de adicionar alguns compostos na sua composição, associando à melhoria de uma de suas propriedades. Além disso, de acordo com a composição de cada lubrificante, pode-se classificá-lo, sendo que há algumas classificações muito comuns, que serão apresentadas na sequência. Ao final do capítulo, com intuito de ilustrar os conceitos apresentados, será apresentada parte da ficha técnica de um lubrificante comercial.

5.1 Composição

Todo fluido pode ser utilizado como lubrificante, entretanto, há aqueles mais propícios para essa função. Segundo Almeida (2017), a capacidade de adesão e propriedades que contribuem para uma boa película lubrificante são os principais fatores que fazem com que os derivados do petróleo sejam os principais fluidos utilizados para esse fim. Não se utiliza o petróleo cru, mas sim um de seus derivados, o óleo básico mineral.

Para cada sistema em que será utilizada uma lubrificação, existem requisitos mínimos que devem ser atendidos pelo fluido lubrificante. Por exemplo, em um cenário de aplicação de lubrificante em temperatura ambiente, não será uma preocupação o ponto de fluidez do lubrificante, desde que aquele lugar não tenha um inverno muito rigoroso. Dessa forma, os requisitos variam conforme o equipamento e as condições de operação, sendo que ao final deste capítulo será apresentado o manual de lubrificação de um redutor, como exemplo.

Conseqüentemente, têm-se as especificações dos lubrificantes, que são um conjunto de intervalos para cada uma de suas principais propriedades. Ressalta-se que a maioria desses requisitos são atendidos pelos óleos básicos, pois eles têm propriedades lubrificantes, apesar de não serem utilizados puros.

Entendendo as principais propriedades dos lubrificantes, pode-se explicar o objetivo da utilização dos aditivos. Eles são adicionados aos óleos básicos, que são os constituintes principais dos lubrificantes, para melhorar algumas propriedades, dependendo da situação em que será utilizado aquele composto. A partir dessa mistura, obtêm-se um óleo básico lubrificante acabado. Além disso, para melhorar uma propriedade específica, deve ser utilizado um tipo de aditivo, mas esse tipo de aditivo pode ter diversas origens e cabe ao fabricante selecionar qual será utilizado.

Por exemplo, os detergentes podem ser de quatro famílias distintas: os sulfonatos, fosfonatos e/ou tiofosfonatos, fenatos e silicatos alcoil-substituídos. Há também os dispersantes, que são detergentes não metálicos, geralmente com maior peso molecular que os detergentes, podendo também ser classificados em diversos grupos, como amidas e poliamidas, de cadeia de hidrocarbonetos longa, por exemplo. Os aditivos detergentes/dispersantes têm como funções: evitar que os produtos da oxidação do óleo, e demais compostos, se depositem na superfície da peça (função dispersante), remover depósitos (função detergente), impossibilitar a formação de compostos insolúveis no óleo e neutralizar produtos da oxidação ácida (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006)

Além desses, têm-se agentes EP (extrema pressão), para casos em que o lubrificante deverá ser usado na lubrificação limítrofe extrema, sendo necessárias propriedades de resistência à extremas pressões. Há diversos compostos que podem ser utilizados como agentes EP e, por isso, há várias classificações desses aditivos. Além disso, existem testes para analisar suas performances, que se baseiam na aplicação de uma carga aumentando gradualmente em superfícies onde há lubrificação, e a partir disso verifica-se o lubrificante mais indicado para aquela situação (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Na Tabela 2, são mostradas as dosagens médias de alguns dos principais aditivos utilizados, segundo Carreteiro e Belmiro (2006). O percentual exato de cada aditivo em um determinado lubrificante só é encontrado em sua fórmula, que é um segredo da empresa que o produz; por isso, as informações de dosagem geralmente encontradas de forma pública são faixas de valores.

Tabela 2 - Dosagem dos principais aditivos nos lubrificantes.

Tipo	Dosagem (% em volume)	Exemplos de aditivos
Detergentes	2-10	Tiofosfonatos
Antioxidantes e inibidores de corrosão	0,4-2	Aminas aromáticas secundárias
Melhorador do índice de viscosidade	0,5-10	Poliisobutenos
Redutores do ponto de fluidez	0,1-1	Poliacrilamidas
Agentes EP	5-10	Ácidos carboxílicos
Antiespumantes	0,0002-0,08	Copolímeros orgânicos
Antiferrugem	0,1-1	Ácidos alquenil-succínicos
Agente de oleosidade (antidesgaste)	0,1	Ditiofosfato de zinco

Fonte: Adaptado de Carreteiro e Belmiro (2006).

5.2 Classificações

Há várias formas de classificar os lubrificantes, entretanto, a classificação mais utilizada foi criada pela API (*American Petroleum Institute* – Estados Unidos) e está demonstrada na Tabela 3, de acordo com a qual eles são classificados de acordo com o índice de viscosidade (IV), saturação e concentração de enxofre. Enquanto os grupos I e II são lubrificantes produzidos por bases minerais, os lubrificantes dos grupos III e IV são sintéticos ou semissintéticos. De acordo com a discussão das propriedades no capítulo 4, observa-se que o grupo I é dos lubrificantes que possuem qualidade inferior, pois possuem menor índice de viscosidade, menor percentual de saturados e maior percentual de enxofre, quando comparado com os demais grupos. Na sequência, tem-se o grupo II com qualidade um pouco superior, por possuir menor porcentual de enxofre e maior percentual de compostos saturados, seguido pelo grupo III que compreende os produtos com maior índice de viscosidade. Já o grupo IV é constituído pelas polialfaoleofinas (PAOs), que são os lubrificantes sintéticos mais comuns e com maior eficiência que os anteriores, de forma geral. O grupo V não pode ser comparado em questão de qualidade com os anteriores, pois são aqueles que não se encaixam nos outros grupos, como os naftênicos e biolubrificantes. Há ainda um último grupo, que foi a inclusão mais recente e não é citado por alguns autores como Farah (2012), o grupo VI, representado pelas polinternalolefinas (PIO), um outro tipo de lubrificante sintético, fabricado na Europa (TEXACO, 2005).

Tabela 3 - Classificação API dos lubrificantes.

Categoria	Índice de Viscosidade	Saturados (% em massa)	Enxofre (% em massa)
Grupo I	80 a 120	≤ 90	$> 0,03$
Grupo II	80 a 120	≥ 90	$\leq 0,03$
Grupo III	≥ 120	≥ 90	$\leq 0,03$
Grupo IV	Polialfaoleofinas (PAOs)		
Grupo V	Todos os lubrificantes que não se encaixam nos grupos anteriores		
Grupo VI	Polinternalolefinas		

Fonte: Adaptado de Farah (2012).

Além da classificação API, as classificações mais comuns dos lubrificantes, que têm alguma relação com a viscosidade, são SAE (*Society of Automotive Engineers*), AGMA (*American Gear Manufacturing Association*) e ISO VG (*International Standards Organization Viscosity Grade*), sendo algumas delas discutidas neste trabalho. Cada classificação tem sua devida relevância em um nicho específico, por exemplo, a classificação AGMA é a mais utilizada quando se fala em engrenagens utilizadas em sistemas de transmissão industriais (COSAN, 2013).

Além da classificação API apresentada, outra que é muito utilizada, principalmente no setor automotivo, sendo conhecida por viscosidade SAE, pois sua definição foi elaborada por um grupo estadunidense chamado de *Society of Automotive Engineers* (SAE), cuja sigla deu nome à classificação. Esse grupo considera a viscosidade como a propriedade mais importante para entender se o lubrificante será ideal ou não para um veículo. Nessa classificação, é fornecida a viscosidade máxima a baixas temperaturas, ao lado da letra W, proveniente do termo inglês *Winter*, que significa inverno. Dessa forma, tem-se conhecimento da viscosidade mínima que aquele lubrificante atingirá. Além disso, pode-se encontrar junto a esse valor, um outro, que não estará acompanhado da letra W e representa a viscosidade a altas temperaturas, sendo essa a viscosidade mínima a 100 °C (PEREIRA, 2015). Para entender o quão importante essa classificação se tornou na atualidade, é possível observar na Figura 9, o rótulo do lubrificante “Mobil 1 Extended Performance 5W-30 advanced full synthetic motor oil”, produzido pela Moove Lubrificantes, no qual em uma das informações em destaque lê-se “5W-30”. Isso significa que, em um carro com motor desligado, a viscosidade do lubrificante estará próxima de 5, e quando o carro aquece, atingindo a temperatura de operação do motor,

a viscosidade se aproximará de 30. Quanto menor o valor à esquerda da letra W, menos tempo levará para o lubrificante sair do cárter e atingir a válvula e, quanto menor o tempo, menor o desgaste causado no motor, desde que haja uma boa lubrificação. Isso porque, valores mais baixos correspondem a películas mais finas; portanto, não necessariamente, quanto menor o valor, melhor a lubrificação. Ademais, há ainda lubrificantes monoviscosos, por exemplo, um óleo lubrificante SAE 40, que significa que sua viscosidade praticamente não se altera entre 0 e 100 °C.

Figura 9 – Óleo sintético 5W-30 produzido pela Moove Lubrificantes.



Fonte: Moovelub (2022).

Além de classificar os lubrificantes de acordo com suas propriedades, pode-se classificá-los de acordo com o tipo de petróleo utilizado em sua produção, de acordo com sua composição química. Nesse sentido, tem-se os naftênicos e os parafínicos, classificação referente aos hidrocarbonetos predominantes em sua composição, e os óleos básicos deles derivados terão características diferentes (FARAH, 2012). As parafinas são alcanos e os naftênicos são cicloparafinas, de forma que há apenas ligações saturadas; caso o composto tenha uma insaturação, é denominado olefina, sendo duas insaturações, diolefinas, enquanto uma insaturação tripla caracteriza um acetileno (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006). Muitos outros compostos podem ser encontrados no petróleo, como aqueles que possuem anéis aromáticos em sua estrutura, e outros de menor relevância e menores concentrações de forma geral.

O Quadro 3 apresenta uma comparação das propriedades de óleos parafínicos e naftênicos e a aplicações *versus* desempenho. A partir da observação do Quadro 3, nota-se que para cada tipo de petróleo, obtém-se um lubrificante com diferentes propriedades e que na grande maioria das situações, os óleos naftênicos possuem melhor desempenho e, por esse motivo, são considerados óleos de melhor qualidade.

Quadro 3 - Comparação das características de óleos parafínicos e naftênicos.

	Características	Óleos parafínicos	Óleos naftênicos
Propriedades	Ponto de fluidez	Maior	Menor
	Índice de viscosidade	Maior	Menor
	Resistência à oxidação	Maior	Menor
	Oleosidade	Menor	Maior
	Resíduo de carbono	Maior	Menor
	Emulsibilidade	Menor	Maior
Aplicação <i>versus</i> desempenho	Óleos isolantes	Menor	Maior
	Óleos de corta emulsionados	Menor	Maior
	Graxas	Menor	Maior
	Lubrificação de motores automotivos	Maior	Menor
	Extensores de borracha	Maior	Menor
	Óleos para amortecedores	Menor	Maior
	Compressores de refrigeração	Menor	Maior

Fonte: Adaptado de Carreiro e Belmiro (2006) e Farah (2012).

5.3 FISPQ

Conhecendo as principais propriedades dos lubrificantes, sua composição e classificações, pode-se ter uma maior compreensão de documentos referentes a eles. O mais importante deles é a FISPQ, que é a sigla para Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos. Propriedades como ponto de fulgor e informações como condições para armazenamento seguro constam nessa ficha. Sendo assim, é importante que uma pessoa com conhecimento das condições de operação do sistema faça a leitura da FISPQ do lubrificante, para garantir que ele será utilizado em condições seguras. Além disso, é comum que haja troca de lubrificantes nos equipamentos, seja para obter um desempenho melhor ou pela não disponibilidade no momento do lubrificante desejável, sendo necessário verificar se o novo lubrificante será compatível com o maquinário, através de um estudo da FISPQ.

Na Figura 10, observa-se a primeira página da FISPQ do produto Lubrax Tecno 15W40, na qual constam informações que identificam o produto, na seção 1, seguidas por um maior detalhamento das informações de segurança do lubrificante, a partir da seção 2.

Figura 10 - Recorte da FISPQ do produto Lubrax Tecno 15W40.

LUBRAX		FISPQ - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos	
Produto: LUBRAX TECNO 15W40			
Número da FISPQ: 1011499		Data de revisão: 04/11/2021	
SEÇÃO 1: Identificação do Produto e da Empresa			
1.1. Identificação do produto			
Nome do produto	:	LUBRAX TECNO 15W40	
Código do produto	:	1011499	
Uso recomendado	:	Óleo lubrificante.	
1.2. Identificação da Empresa			
Nome da Empresa	:	Petrobras Distribuidora S.A.	
Endereço	:	Rua Correia Vasques, 250 Rio de Janeiro Brasil 20.211-140	
SAC	:	4090 1337 (capitais ou regiões metropolitanas) ou 0800 770 1337 (demais regiões)	
SEÇÃO 2: Identificação de perigos			
2.1. Classificação da substância ou mistura			
Classificação de acordo com GHS BR (ABNT NBR 14725-2)			

Fonte: Lubrax (2021).

5.4 Ficha técnica

Além da FISPQ, há a ficha técnica do lubrificante, um documento mais sucinto e focado nas principais informações e aplicações do lubrificante, ou seja, similar a FISPQ, mas com foco diferente. Por exemplo, ao consultar a ficha técnica do produto “Havoline® Ultra W SAE 5W-40” (TEXACO, 2020), observa-se que a viscosidade SAE costuma ser a classificação mais importante para o setor automotivo e, por isso, é comum que seja vista no nome do lubrificante, como nesse caso. No início da ficha, há uma breve descrição do produto, informando que se trata de um lubrificante 100% sintético e multiviscoso. Além

disso, em sua formulação possui a seguinte especificação: “foi especialmente desenvolvida para prover excelente proteção contra a corrosão, evitar a formação de emulsão, borra e depósitos nos pistões” e com “foco na proteção de motores flex principalmente os que operam utilizando etanol como combustível principal” (TEXACO, 2020). Ao final, na Tabela 4, estão apresentadas as características típicas do lubrificante, em que se deixa claro que são valores médios, podendo haver pequenas variações.

Tabela 4 - Características típicas do lubrificante Havoline® Ultra W SAE 5W-40.

Grau	5W-40
Código do produto	314074
Código da FISPQ	38203
Densidade a 20 °C, kg/L	0,853
Viscosidade cinemática	
mm ² /s (cSt) a 40°C	84
mm ² /s (cSt) a 100°C	13,4
Índice de viscosidade	162
Ponto de fulgor, COC, °C	230
Ponto de fluidez, °C	-48

Fonte: Adaptado de Texaco (2020).

Da mesma forma que essas informações são encontradas na ficha técnica de um lubrificante, também há documentos similares para motores e equipamentos com recomendações de lubrificantes. Por exemplo, o redutor Helicon produzido pela Weg-Cestari vem acompanhado de um manual de instalação, lubrificação, manutenção e garantia. Ao consultar a parte que aborda a lubrificação, tem-se que o lubrificante “deve ser óleo mineral de extrema pressão e de boa qualidade; neutro em reações, não corrosivo as engrenagens e ter boas propriedades antiespumantes”, ou seja, provavelmente será necessário um lubrificante em que tenham sido utilizados como aditivos agentes EP e antiespumantes em sua composição (CESTARI, 2002). Por se tratar de um redutor de velocidade industrial, os requisitos de lubrificação são apresentados na classificação AGMA, que é geralmente a mais utilizada para sistemas de transmissão industrial, que é o caso de um redutor (COSAN, 2013). Um diferencial interessante é que esse é um redutor de três estágios, e não se recomenda utilizar apenas um lubrificante. Segundo o manual da Weg-Cestari (2003), “para redutores

operando a uma rotação no eixo de entrada, mínima de 800 rpm e máxima de 1800 rpm e temperatura ambiente mínima de 10 °C e máxima de 50 °C”, ou seja, é fundamental deixar claras as condições de operação, sendo recomendado o “óleo com viscosidade AGMA 5 EP para 1 estágio e 6 EP para 2 e 3 estágios”, sendo assim, são necessários dois lubrificantes distintos para a operação desse redutor. Dessa forma, a escolha do lubrificante depende da carga de trabalho, temperatura de operação e das condições do ambiente, não só nesse caso, mas de uma forma geral.

É importante ressaltar que muitas vezes, especialmente para aqueles equipamentos que possuem longa vida útil, os manuais se tornam desatualizados, no sentido de não mais indicar o melhor lubrificante. Isso porque, com o tempo, diversos produtos são lançados e surgem novos lubrificantes que poderiam melhor atender àquela operação. Todavia, dificilmente a empresa que adquiriu o equipamento utilizará um lubrificante diferente do que recomenda o manual, por receio, como nos casos em que o maquinário possui custo expressivo e essencialidade de uso contínuo, e isso se torna uma barreira para que novos produtos, com melhor desempenho, se consolidem no mercado.

Diante do exposto neste capítulo, em que foram apresentadas algumas classificações e principais aditivos dos lubrificantes, será abordado no capítulo a seguir a principal classificação qualitativa dos lubrificantes, referente ao tipo de óleo básico utilizado em sua produção.

6 ÓLEOS BÁSICOS

O óleo básico é o principal constituinte de um lubrificante e representa pelo menos 90% de sua composição (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006). Ele recebe esse nome por ser a base do lubrificante, na qual serão adicionados outros componentes, a fim de obter o óleo lubrificante acabado.

Os óleos básicos mais utilizados são os minerais e sintéticos e, além desses, têm-se os vegetais, com uma tendência de crescimento, conforme será abordado neste capítulo. A diferença entre eles são as matérias-primas utilizadas em sua produção, sendo o petróleo a mais significativa, por isso é de suma importância o seu estudo. É importante ressaltar que outras matérias-primas podem ser utilizadas para a produção de lubrificantes, como o carvão mineral usado, por exemplo, na produção do grafite, que é um lubrificante sólido, mas não terão maior aprofundamento neste trabalho, cujo foco são lubrificantes líquidos.

6.1 Petróleo

Desde sua descoberta, muitas hipóteses foram levantadas para explicar a origem do petróleo. A teoria mais aceita, conhecida como teoria da biogênese, aponta que ele surgiu a partir da decomposição de restos de animais e vegetais, que foram cobertos por várias camadas de materiais, sendo então submetidos a altas pressões e temperaturas, criando condições necessárias para transformá-los em petróleo, através de reações que ocorreram ao longo de milhões de anos (GAUTO; ROSA, 2013), como será explicado com mais detalhes na sequência. Há também a teoria do petróleo abiótico, que alega que ele surgiu a partir de reações químicas no interior da Terra, através de condições que propiciaram a combinação do carbono e hidrogênio em diversos hidrocarbonetos, sendo essa a teoria que defende a origem inorgânica do petróleo, que atualmente é defendida por poucos e praticamente superada (FARAH, 2012).

Segundo Gauto e Rosa (2013), um sistema petrolífero abrange substâncias e processos responsáveis por sua formação, sendo a parte física o conjunto de rochas, petróleo e gás. Quanto aos processos, há inicialmente a formação do petróleo em rochas geradoras, conforme teoria mais aceita, a partir da conversão da matéria orgânica em hidrocarbonetos, sendo submetida a altas pressões e temperaturas, em um processo conhecido como maturação. Nesse processo, há o aumento de volume do petróleo, o que justifica o fato dele não ser encontrado

em sua rocha de origem, de forma geral, pois os hidrocarbonetos formados têm uma tendência a escoar para regiões de baixas pressões. A formação, e posterior movimentação dos hidrocarbonetos, são denominadas por Gauto e Rosa (2013) de “trinômio geração-migração-acumulação”. A migração acontece em um movimento de elevação, pois regiões de maior altitude têm menor pressão e devido à densidade dos hidrocarbonetos. Esse deslocamento ocorre até que o petróleo se depare com uma armadilha, uma barreira física, que é uma rocha reservatório (FARAH, 2012). O estudo de um sistema petrolífero é realizado identificando o tempo de preservação, que é o período completo em que ocorreu o trinômio geração-migração-acumulação, e o momento crítico, que é um intervalo mais específico, dentro do tempo de preservação, que retrata quando ocorreu a formação da maior parte do trinômio daquele sistema.

A exploração do petróleo se traduz como um conjunto de técnicas cujo intuito é encontrar locais nos quais há a presença daquele recurso, através de métodos geológicos e/ou geofísicos. Os métodos geológicos geralmente baseiam-se na análise de amostras, que podem ser retiradas de perfurações, e os geofísicos, que são estudos com um contato mais indireto, prevendo comportamentos a partir de testes realizados. Segundo Gauto e Rosa (2013), existem diversos métodos geofísicos para exploração do petróleo, como os potenciais, eletromagnéticos (EMs), a perfilagem geofísica e os sísmicos, que são os mais utilizados.

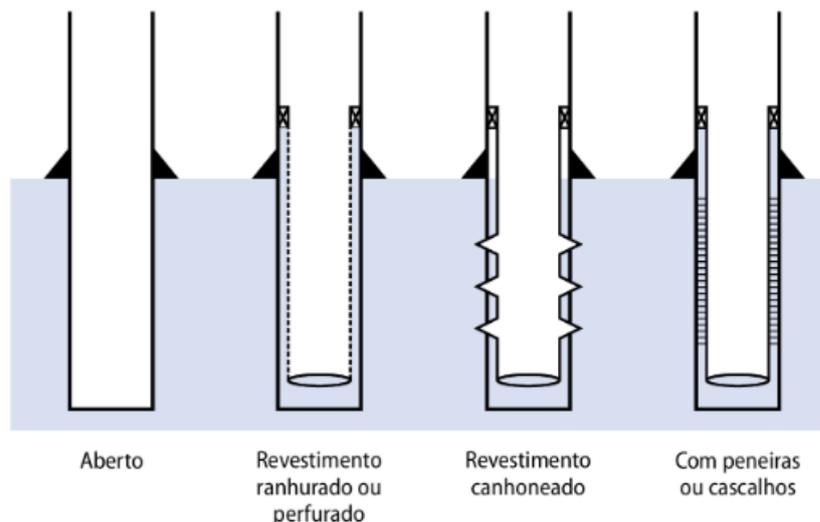
Após localização do petróleo, deve ser feita uma avaliação de viabilidade econômica, através de uma sondagem, retirando amostras para análise, a fim de verificar se o poço encontrado tem quantidades relevantes para fins comerciais. Em caso positivo, podem ser feitos testes de poço, segundo ANP (2020), como os testes de formação e de produção de longa duração, com intuito de estimar a capacidade de produção e vazão diária.

Após descoberta e comprovação da viabilidade econômica de uma acumulação de petróleo, deve ser feita a perfuração do poço para posterior fase de produção. O método de percussão foi o primeiro utilizado na perfuração de um poço e foi o mais utilizado para esse fim até meados do século XX, sendo seu nome devido ao uso de uma sonda de percussão para perfuração (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006). Entretanto, é um processo lento e limitado, por isso, foi substituído ao final do século XX pela secagem rotativa, contudo ainda é utilizado em raras ocasiões.

Após a perfuração do poço, ele deve ser preparado para produzir, a partir da instalação de uma estrutura básica de produção. Para isso, faz-se a completação do poço, a partir da instalação de ferramentas tanto no seu interior quando no exterior, sendo que as formas mais

comuns podem ser vistas na Figura 11. A completção aberta é a mais simples e de menor custo, entretanto, as outras fornecem maior segurança, com menor chance de desabamento (GAUTO; ROSA, 2013).

Figura 11 – Diferentes cenários de completção de um poço de petróleo.



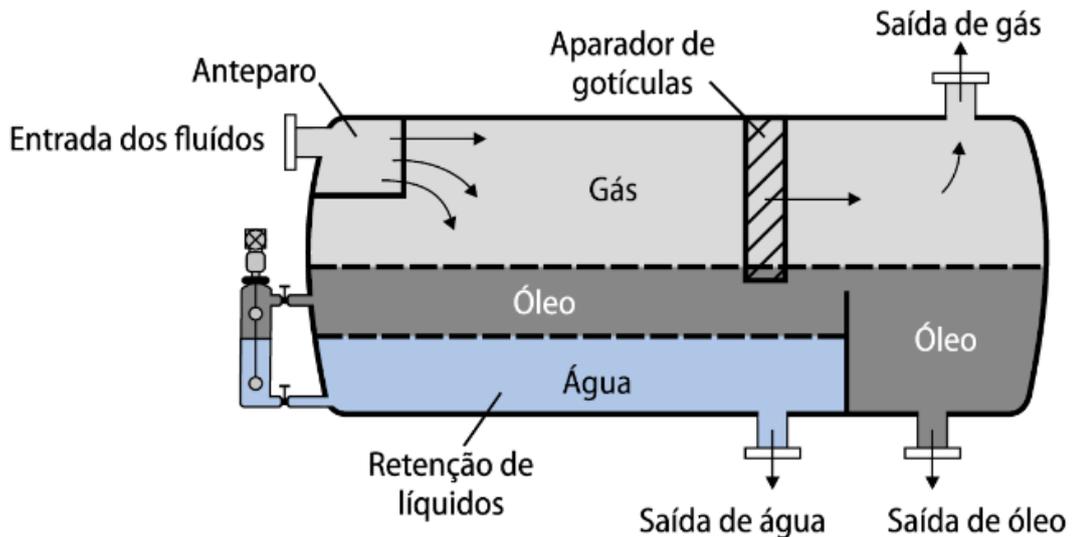
Fonte: Gauto; Rosa (2013).

Segundo Gauto e Rosa (2013), os campos de petróleo podem estar no continente, sendo chamados de campos *onshore* ou podem ser localizados em alto-mar, sendo estes conhecidos por campos *offshore*. Os campos *offshore* têm uma complexidade muito maior de instalação, de forma que demandam mais equipamentos para iniciar a produção com segurança, gerando assim um maior custo. Apesar da maior complexidade envolvida na instalação e operação dos campos *offshore*, há também uma maior produtividade (CBIE, 2020). Em 2006, foi descoberta a existência de um grande campo petrolífero *offshore* no Brasil, que ficou conhecido como pré-sal. Segundo informações da CBIE (2019), em 2019, o pré-sal ultrapassou a marca de 60% em volume de toda a produção nacional.

No processo de extração, obtém-se o petróleo (óleo cru), junto a água salgada e gás, de forma que no próprio local de extração e na mesma planta do processo, deve ser feita a separação desses componentes, sendo esse um processamento primário (GAUTO; ROSA, 2013). Há casos em que a separação é bifásica, separando apenas a fase líquida da gasosa, geralmente em plantas em que a fração de água é baixa, e outros em que é feita a separação trifásica, que é a mais comum (GAUTO; ROSA, 2013). Na Figura 12, observa-se o esquema

de um vaso separador trifásico horizontal e os componentes são separados em função de sua densidade, obtendo assim três fases diferentes.

Figura 12 - Esquema de um vaso separador trifásico horizontal.



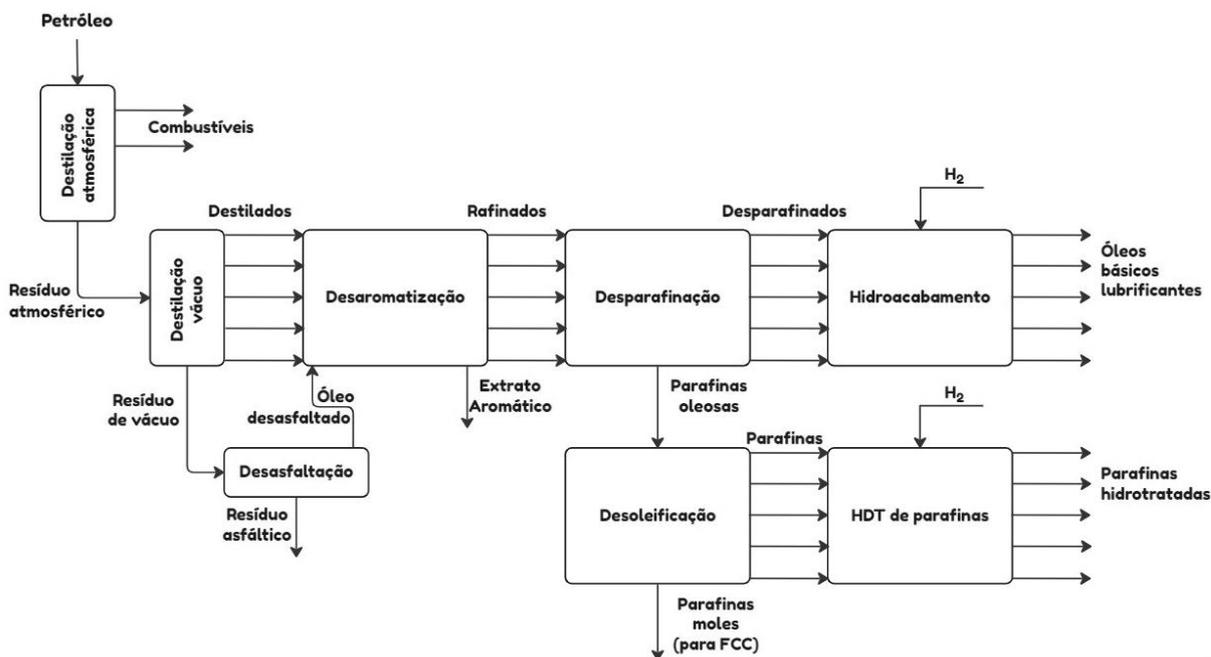
Fonte: Gauto e Rosa (2013).

Dessa forma, obtém-se o petróleo cru, que contém diversas impurezas e deve então passar por uma série de operações, que podem envolver processos de separação (natureza física), conversão (modificações na composição química) e tratamento (eliminação de impurezas), conjunto esse denominado refino (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006). Através do petróleo, diferentes produtos podem ser obtidos, sendo assim, o processo varia conforme o produto desejado e com a matéria-prima utilizada. Além disso, cada refinaria é única, sendo que seus processos e equipamentos dependem da composição da matéria-prima recebida, do produto almejado e dos avanços tecnológicos.

6.2 Minerais

Os óleos minerais são obtidos através do refino do petróleo e podem ser produzidos através de duas possíveis rotas: solvente ou hidrorrefino. A rota solvente tem o menor custo, entretanto, gera um produto com menor pureza. Ela pode ser observada na Figura 13, em um esquema que ilustra o processo produtivo de um óleo básico mineral através da rota solvente.

Figura 13 - Produção de óleo básico mineral através da rota solvente.



Fonte: Adaptado de Duque (2018).

Nesse processo, o petróleo bruto passa inicialmente por uma destilação atmosférica. Essa etapa é comum à praticamente todas as refinarias de petróleo, pois a partir dela, pode-se dividir o fluido em frações com propriedades características, sendo que cada uma delas possui diferentes aplicações. Carreteiro e Belmiro (2006) denominam esse processo por destilação primária inicial ou topeamento (*topping*), cujo intuito é separar as frações leves das pesadas. Conforme Tabela 5, que mostra as principais aplicações para cada uma das frações de destilação do petróleo, observa-se que para obtenção de gasolina e insumos petroquímicos, são utilizadas as frações com menores pontos de ebulição, enquanto para lubrificantes, é necessário utilizar as partes com maiores ponto de ebulição. Ou seja, para a produção de lubrificantes, as faixas de destilação de interesse são principalmente entre 490 °C e 550 °C, sendo que o resíduo de vácuo, obtido a partir de 550 °C, também pode ser utilizado, entretanto com um processo adicional de separação na etapa de refino, com intuito de remover o resíduo asfáltico do composto. Nesse sentido, a curva PEV (Ponto de Ebulição Verdadeiro) é utilizada para caracterizar as frações de petróleo de acordo com a faixa de ebulição, sendo obtida a partir de análises físico-químicas (ANP, 2022c).

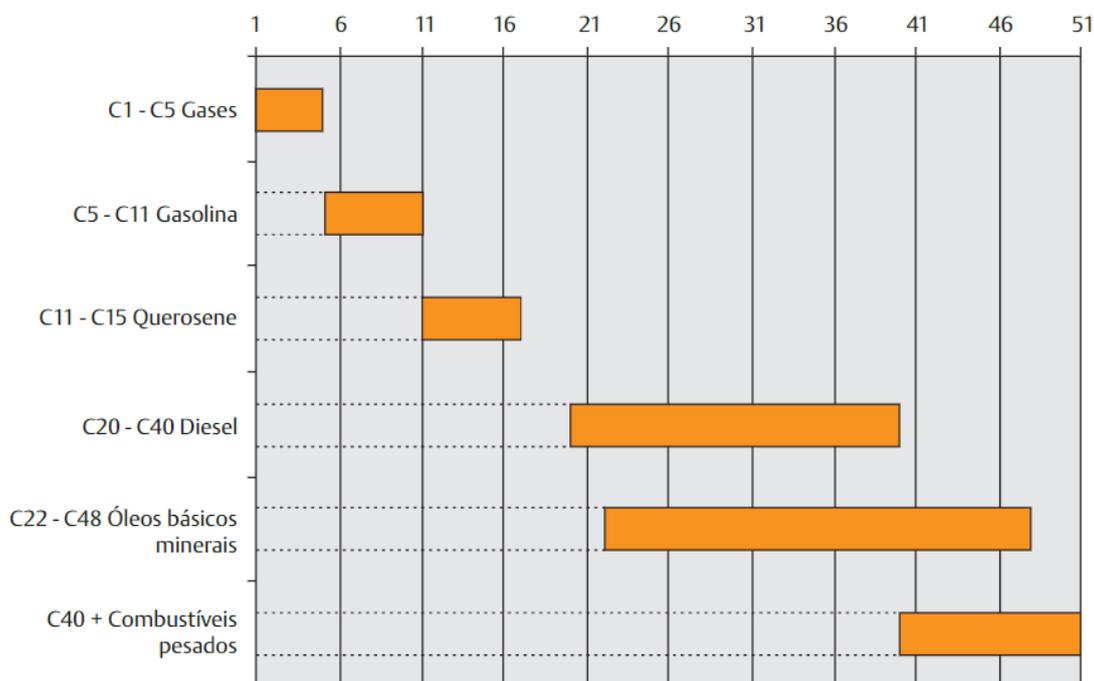
Tabela 5 - Aplicações comerciais dos derivados do petróleo de acordo com a faixa de destilação.

Fração	Faixa de destilação PEV (°C)	Principais aplicações comerciais
Gás combustível	Abaixo de -42	Gás combustível; petroquímica
Gás liquefeito do petróleo (GLP)	-42 a 0	Combustível doméstico e industrial; petroquímica
Nafta leve	30 a 90	Gasolina; petroquímica; solventes
Nafta pesada	90 a 170	Gasolina; petroquímica; obtenção de aromáticos
Querosene	170 a 270	QI (querosene iluminante); QAV (querosene de aviação); óleo diesel; detergentes
Gasóleo leve atmosférico	270 a 320	Óleo diesel; óleo de aquecimento
Gasóleo pesado atmosférico	320 a 390	Óleo diesel; óleo de aquecimento
Gasóleo leve de vácuo	390 a 420	Carga de craqueamento catalítico fluido (FCC); óleos básicos lubrificantes; óleo diesel
Gasóleo pesado de vácuo	420 a 550	Carga de FCC; óleos básicos lubrificantes
Resíduo de vácuo	Acima de 550	Óleos combustíveis; óleos básicos lubrificantes; asfalto

Fonte: Farah (2012).

Outra maneira de observar essas informações, seria de acordo com o número de carbonos nas moléculas dessas frações, pois conforme aumenta-se a cadeia de carbonos, mais difícil se torna de alterar o estado físico da matéria, pois maior serão as forças intermoleculares. Sendo assim, na Figura 14, observa-se que para uso em lubrificantes, são utilizados compostos com moléculas contendo em torno de 22 a 48 carbonos, sendo assim, com ponto de ebulição maior do que aqueles utilizados para combustíveis, por exemplo (TEXACO, 2010).

Figura 14 – Usos das frações do petróleo de acordo com o tamanho da cadeia carbônica.



Fonte: Texaco (2010).

Dessa forma, após destilação, para a produção dos lubrificantes, será utilizado o produto de fundo (resíduo atmosférico), enquanto o destilado, cujas principais aplicações são a produção de combustíveis, será um coproduto. O resíduo atmosférico, que é uma mistura de gasóleo e resíduo lubrificante, segundo Carreiro e Belmiro (2006), passa então pelo processo de destilação a vácuo, cuja grande diferença da destilação anterior, são as temperaturas e pressões de operação, sendo obtidos vários tipos de óleos, cada um deles em uma faixa de viscosidade e estes são os produtos principais. Dessa forma, o produto obtido é uma mistura dos seguintes grupos, em ordem crescente de viscosidade: óleos básicos *spindle*, neutro leve, neutro médio e neutro pesado (FARAH, 2012). O subproduto resíduo de vácuo passa por um processo de desasfaltação, em que o óleo desasfaltado é aquele que pode ser utilizado para produção de lubrificantes, sendo uma fração de óleo recuperada nessa etapa, enquanto o resíduo asfáltico é o segundo coproduto geral do processo de refino, com foco na produção de lubrificantes, que pode ser utilizado conforme Tabela 5, para produção de óleos combustíveis ou asfaltos.

Na sequência, há os processos de desaromatização e desparafinação, para remoção, respectivamente, de aromáticos e parafinas, processos que podem inclusive ter a ordem invertida, dependendo do tipo de petróleo utilizado e sua composição, visando uma redução

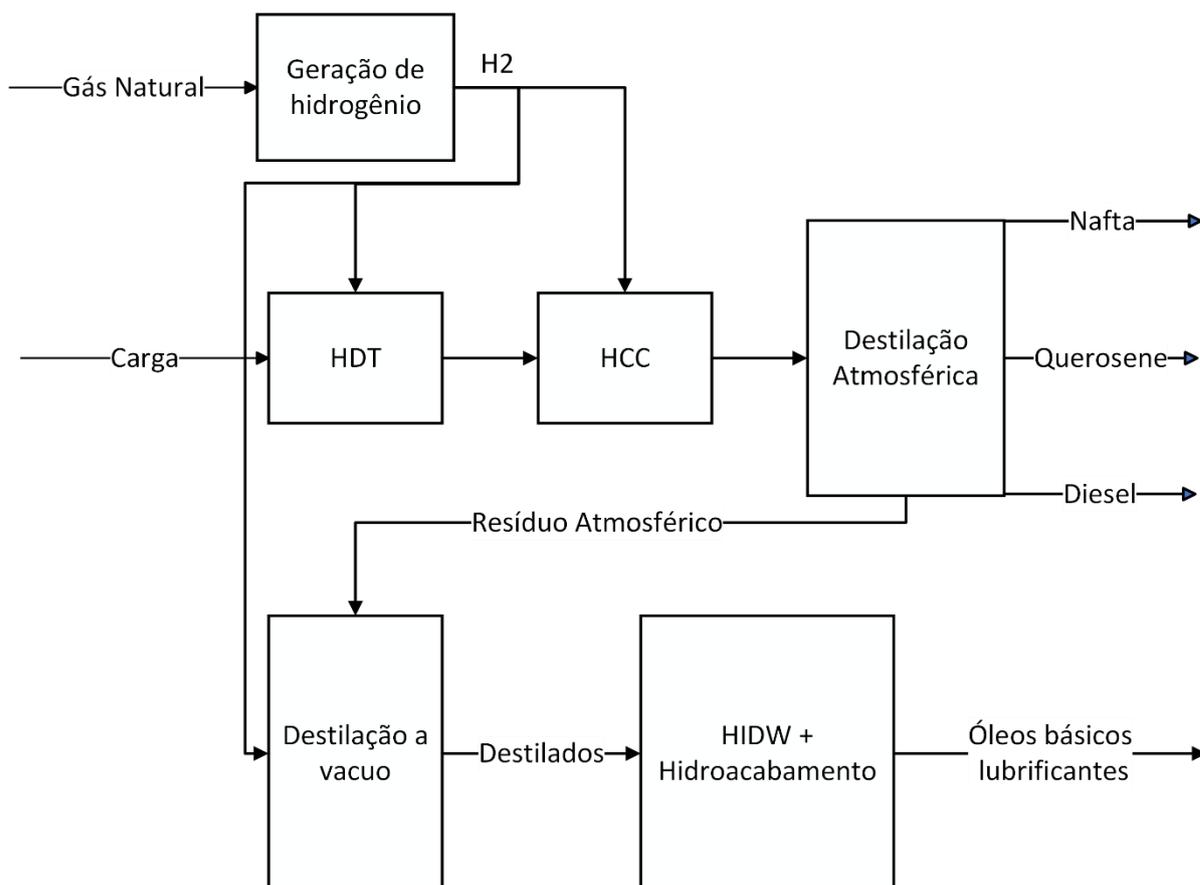
no custo operacional. Segundo Carreteiro e Belmiro (2006), a desaromatização tem o intuito de aumentar o índice de viscosidade e melhorar a resistência à oxidação e pode ser feita a partir de um solvente, como o furfural, que tem maior afinidade com os compostos aromáticos, sendo recuperado e reaproveitado no processo. Já a desparafinação “remove os hidrocarbonetos normais parafínicos de cadeias longas” (FARRAH, 2012), o que reduz o ponto de fluidez, que fará com que o lubrificante possa ser usado em temperaturas menores (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Desses processos, obtêm-se dois novos subprodutos do refino: o extrato aromático, da desaromatização, e as parafinas oleosas da desparafinação, como mostra a Figura 13. Já o produto principal, cujo ponto de fluidez e viscosidade foram ajustados, deverá passar por um último processo, o hidroacabamento, que visa remover compostos indesejados, sendo o principal deles o enxofre, mas também compostos de nitrogênio e oxigênio. Essa etapa altera a cor do produto, clareando-o, e melhora sua estabilidade, produzindo assim, os óleos básicos minerais (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Entendendo o objetivo dos processos, fica claro o porquê de o petróleo bruto ter sido utilizado há tempo como lubrificante, e pelo fato de não atender aos requisitos dos equipamentos modernos: o processo de refino e, posteriormente, a mistura de ativos melhoram suas propriedades para que sejam atendidos estes requisitos.

Na Figura 15, pode-se observar um esquema ilustrativo da produção de óleo básico mineral através da rota de hidrorrefino. A grande diferença desse processo com relação à rota solvente (Figura 13) é que neste o foco são processos de conversão, através de reações químicas, ao invés de separações físicas, o que reflete no seu maior custo.

Figura 15 - Produção de óleo básico mineral através da rota de hidrorrefino.



Fonte: Adaptado de Duque (2018).

Na rota de hidrorrefino, o processo de desaromatização é substituído pela conversão química dos aromáticos em compostos saturados, através da hidrogenação catalítica ou hidrotratamento (HDT), que é a etapa inicial, por remover compostos que prejudicariam o desempenho do catalisador do hidrocrackeamento catalítico (HCC), removendo também “compostos poliaromáticos precursores da formação de coque” (DUQUE, 2018). Há então uma etapa de HCC, utilizada como tratamento preliminar do petróleo, que pode ser utilizada para converter petróleos de baixa qualidade em frações mais leves. As etapas de hidroacabamento e destilação a vácuo se mantêm, de forma similar à rota solvente, mas, no hidrorrefino, há a etapa de hidroisodesparafinação (HIDW), que ocorre em meio catalítico, em que as n-parafinas são convertidas em isoparafinas, melhorando assim o ponto de fluidez, sendo esse um processo com objetivo similar à desparafinação da rota solvente (FARRAH, 2012). Ressalta-se que a geração de hidrogênio é conectada em várias etapas do fluxograma, por ser um processo complementar e necessário à processos que envolvem hidrotratamento.

6.3 Sintéticos

Os óleos sintéticos são produzidos a partir de reações químicas, o que melhora a qualidade do lubrificante, mas aumenta seu custo. Os óleos sintéticos mais utilizados são as polialfaoleofinas, que são polímeros obtidos a partir de uma reação catalítica heterogênea de oleofinas, na maioria das vezes, advindas do petróleo. É por isso que inicialmente pode-se ter uma dificuldade de entender a diferença de óleos básicos minerais e sintéticos, porque a principal fonte para obtenção de ambos é o petróleo. A distinção entre eles está nos processos, pois enquanto os óleos básicos minerais são obtidos diretamente do petróleo, os sintéticos utilizam um produto do petróleo, como as oleofinas, aplicando mais processos, ou seja, em que elas participam de reações químicas. Esse maior número de etapas, considerando a matéria-prima inicial, caracteriza um processo de refino mais criterioso, e é o que traz maior custo e complexidade para o processo, mas tem como ganho a obtenção de produtos maior eficiência lubrificante.

6.4 Vegetais

Além das possibilidades mencionadas para a produção de lubrificantes, há uma alternativa menos utilizada, mas com grande potencial: os óleos básicos vegetais. Isso porque, diferente do petróleo, trata-se de um recurso natural renovável. Os óleos vegetais têm sua maior aplicabilidade atualmente no setor alimentício (GAUTO, ROSA, 2013), pois têm como diferencial a não toxicidade a saúde, diferentemente daqueles obtidos pelo petróleo, que possuem metais pesados e são extremamente tóxicos. Além disso, não se encontra facilmente lubrificantes produzidos por óleos vegetais ou biolubrificantes no mercado, pois possui ainda pouca pesquisa com relação a eles, de forma que é necessário otimizar o processo de produção, apresentando benefícios e custos competitivos, para que haja uma escalabilidade industrial. Segundo Gauto e Rosa (2013), há uma forte tendência para que a indústria oleoquímica substitua a petroquímica nas próximas décadas, principalmente devido ao “apelo ecológico”, de forma que há uma necessidade cada vez maior pela preservação do meio ambiente, que é atendida pelos materiais biodegradáveis e advindos de matérias-primas renováveis.

7 PROCESSOS PRODUTIVOS

Uma empresa que produz lubrificantes deve possuir uma planta de mistura e envase. Ela adquire os óleos básicos, principalmente de petroquímicas, e insumos que serão utilizados como aditivos. De acordo com o tipo de lubrificante desejado, será selecionado um óleo básico específico, bem como os aditivos necessários, sendo muito comum que a mistura ocorra em plantas de mistura automática. Nessas plantas, as vazões das correntes de entrada e saída são monitoradas por um sistema de controle totalmente automático, de forma que caso ocorram perdas ou variações das vazões, o sistema ajusta outra corrente para que a composição do produto não seja afetada (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006). Portanto, o processo possui uma dosagem controlada de aditivos, sendo um equipamento de mistura automática como ilustrado na Figura 16.

Figura 16 - Equipamento automático de mistura de óleo base aos aditivos.



Fonte: Alibaba (2023).

Segundo Carreteiro e Belmiro (2006), no processo de formulação de óleos lubrificantes, pode ser que os aditivos misturados reajam entre si, o que pode impactar o processo, reduzindo ou amplificando seus efeitos quando vistos individualmente. De forma geral, isso é indesejável por trazer uma maior complexibilidade de mensuração dos impactos. Portanto, muitos testes devem ser realizados, sendo que quanto mais aditivos, maior deve ser

o cuidado. Para avaliar se um lubrificante é indicado para determinada situação, são necessários testes tribológicos. A partir de suas especificações funcionais, é possível prever os mais indicados, eliminando aqueles que não têm propriedades desejadas para determinada condição de operação, ademais os testes são necessários para garantir a eficiência daquele lubrificante.

Como exemplo de operação em que é exigida lubrificação, Groover (2013) descreve o processo de conformação dos metais, que é um grupo de processos com intuito de mudança de forma do material, no qual é utilizada a ferramenta chamada de matriz em conformação dos metais. Esse é um exemplo de processo que necessita de lubrificação, sendo que, para seleção do lubrificante, os seguintes aspectos devem ser observados: o tipo de processo de conformação (laminação, forjamento, dentre outros), a temperatura de operação, pois pode-se ter trabalho a quente ou a frio, material da peça conformada, reatividade química com os metais da ferramenta e de trabalho, sendo desejável adesão do lubrificante à superfície, facilidade de aplicação e baixos custo, toxicidade e flamabilidade (GROOVER, 2013). Por exemplo, na extrusão a quente de ligas de aço, podem ser utilizados como lubrificantes, compostos minerais, grafites ou até mesmo o vidro. Já na estampagem, um processo em que se aplica força em uma chapa para seu corte ou deformação, podem ser utilizados lubrificantes líquidos, sendo esse processo ilustrado na Figura 17. Além disso, já são comercializados lubrificantes para estampagem produzidos através de óleos básicos vegetais, pela Cadium, por exemplo, que reforça que os produtos de base vegetal são uma tendência de mercado (CADIUM, 2023).

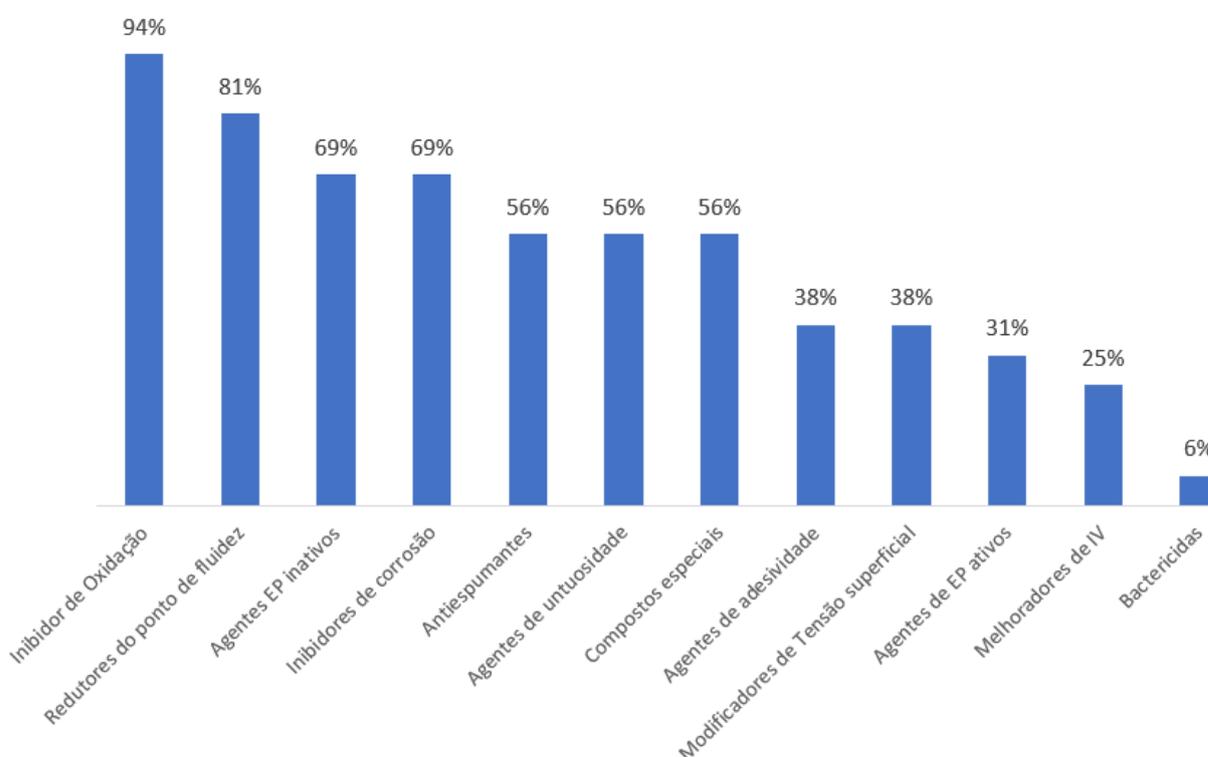
Figura 17 - Uso de lubrificantes na estampagem.



Fonte: Cadium (2023).

Carreteiro e Belmiro (2006) listaram os aditivos utilizados em 16 tipos diferentes de lubrificantes. A partir dessas informações, é possível obter o gráfico apresentado na Figura 18, que contabiliza em quantos dos lubrificantes cada aditivo está presente, sendo que esse valor foi dividido por 16 para obter o percentual de presença daquele aditivo. Observa-se maior participação dos inibidores de oxidação, presentes em 15 dos 16 lubrificantes analisados, sendo os únicos que não o utilizam, os óleos lubrificantes de corte emulsionáveis, aplicados em operações de corte com alta velocidade de resfriamento.

Figura 18 - Presença dos principais aditivos utilizados em lubrificantes.



Fonte: Adaptado de Carreteiro e Belmiro (2006).

Os lubrificantes produzidos podem ser comercializados embalados ou a granel, sendo estocados de acordo com o lote de fabricação. Quando embalados, há diversas possibilidades de tamanhos, variando de acordo com o cliente, entre embalagens de um a milhares de litros, sendo as menores para comercialização de óleos para motores, as médias, para uso frotistas principalmente, enquanto as maiores são para grandes consumidores (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006). Alguns exemplos são as embalagens comercializadas pela Tamco, sendo as menores com volumetria de 200 ml, 500 ml e 1L, às médias com 5L e 20L e as maiores

tambores de 200 L e containers de 1.000 L (TAMCO, 2023). Na Figura 19, tem-se uma imagem de uma das unidades de fabricação e envase de lubrificantes da Tamco.

Figura 19 - Unidade de fabricação e envase de lubrificantes da Tamco.



Fonte: Tamco (2023).

No caso da venda a granel, que é o envio do produto sem embalagens, citando como exemplo a Moove Lubrificantes, a opção mínima de volume é de 5.000 L, sendo o lubrificante transportado em caminhões específicos. Eles são pesados em uma balança rodoviária, inicialmente quando estão vazios e depois quando estão cheios de lubrificantes. A diferença em massa é convertida então para volume, de acordo com a densidade, pressão e temperatura de pesagem. Nesse caso, é muito importante instrumentos com precisão extremamente elevadas, pois pequenas variações representam grandes volumes, por exemplo, em um caminhão de 15.000 L, uma margem de erro de pesagem de 1% equivale a uma diferença no fornecimento de 150 L, ressaltando a importância de medição da temperatura, pois a densidade varia de acordo com essa variável.

8 GRAXAS LUBRIFICANTES

Existem situações em que os óleos lubrificantes não podem ser utilizados, devido a seu estado físico. Alguns exemplos são: locais em que o óleo não pode ser contido ou vazado com facilidade, em situações em que há entraves para o processo de relubrificação, quando é necessária vedação por parte dos lubrificantes, em locais em que seja necessária a redução de ruídos ou ainda situações que fogem dos cenários mais comuns, como altas pressões ou altas temperaturas. (TEXACO, 2005).

Nesses casos, geralmente utiliza-se a graxa lubrificante, cuja composição é semelhante à dos óleos lubrificantes: possui óleos básicos, aditivos e um adicional, que são os espessantes, que fazem com que a graxa assuma um estado geralmente semissólido, semelhante à textura de um gel. É importante ressaltar que as graxas nem sempre são semissólidas e sua consistência pode variar do estado semifluido até o sólido (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Segundo a Texaco (2005), o lubrificante líquido representa entre 70 e 95% da composição da graxa, podendo ser adicionados mais aditivos na sua fabricação e sendo o restante, equivalente aos espessantes, que podem ser “sabões metálicos, argilas tratadas, polímeros de ureia”, dentre outros, sendo que os sabões metálicos são utilizados na maioria das fabricações, em aproximadamente 90% dos casos. As graxas produzidas a partir de sabão metálico podem ser classificadas como graxas à base de sabão de: cálcio, sódio, alumínio, lítio, complexo (um dos sabões anteriores mais um agente complexo como ácido acético) ou podem ser graxas espessadas sem sabão, produzidas a partir de espessantes químicos inorgânicos ou orgânicos dispersos no óleo.

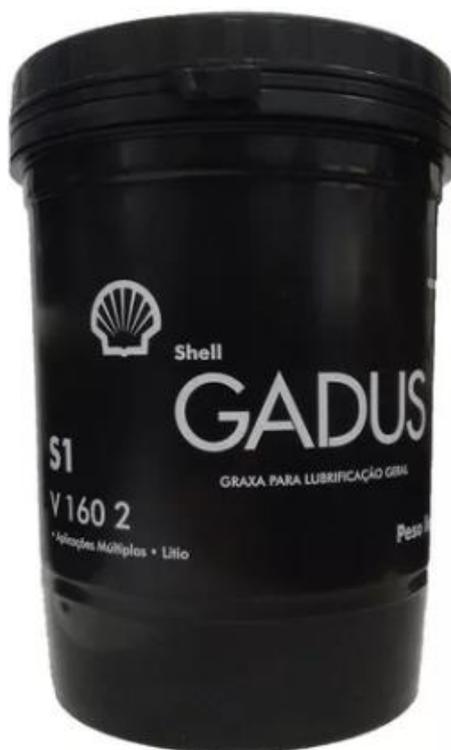
Além das propriedades mencionadas para lubrificantes fluidos, existem outras três que são muito importantes no estudo das graxas. A primeira delas é a consistência, que equivale à resistência da graxa quando submetida a um processo de penetração, sendo que a classificação mais utilizada foi criada pelo *National Lubricating Grease Institute* e denomina-se classificação NLGI, classificando as graxas de 000 a 6, sendo 000 uma graxa muito macia, que quando submetida ao teste com o penetrômetro tem as maiores penetrações trabalhadas e a classificação 6 uma graxa muito dura, onde a penetração é a mais baixa, devido a resistência da graxa (TEXACO, 2005).

Outra propriedade é o ponto de gota, referente à máxima temperatura que uma graxa pode ser utilizada em operação, pois desse ponto em diante, há uma mudança no estado físico

da graxa, assumindo o estado líquido. Segundo Texaco (2005), “deve-se considerar como limite operacional uma temperatura 20% inferior ao seu ponto de gota”.

A terceira propriedade apontada por Texaco (2005) é a bombeabilidade e a importante seu estudo está associado a seu estado físico, sendo equivalente capacidade da graxa de fluir a partir de um bombeamento. Conforme estudado no caso de lubrificantes fluidos, a viscosidade está atrelada a essa definição, mas no caso da graxa, a bombeabilidade depende também da consistência da graxa e do tipo de espessante utilizado. Na Figura 20, há uma imagem da graxa da linha Shell Gadus, em que se observa no rótulo que o espessante utilizado foi o sabão de lítio. Outras informações disponíveis no site do vendedor são que o óleo básico utilizado em sua fabricação é de origem mineral e que a classificação NLGI é 2, ou seja, essa é uma graxa macia.

Figura 20 - Graxa Shell Gadus S1.



Fonte: Shell (2023).

9 TRIBOLOGIA

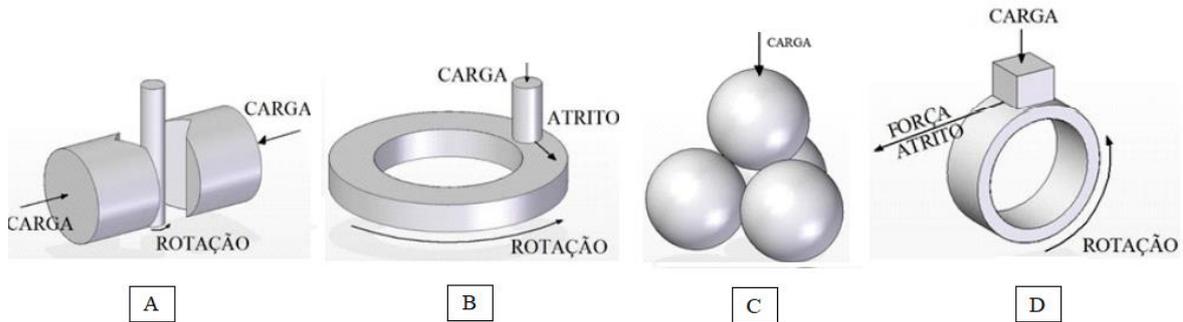
Conforme mencionado ao longo deste trabalho, para cada cenário haverá lubrificantes mais indicados. Segundo INMETRO (2008), “tribologia é o ramo da ciência e tecnologia voltada para o entendimento e a medição do comportamento do atrito entre superfícies que operam em contato e sob atrito”. Para entender qual o melhor lubrificante em um cenário, podem ser feitos testes tribológicos, que são testes que medem o desgaste de um objeto de estudo em determinadas situações

Segundo Gualberto et al. (2020), os testes tribológicos podem ser classificados em três tipos bem definidos. O primeiro tipo e mais simples deles, são os dispositivos de laboratório, em que se avalia diretamente e de forma simplificada, o desempenho do lubrificante. Já nas bancadas de teste, o intuito é reproduzir condições muito similares às do cenário de aplicação real do lubrificante. Além disso, pode-se realizar os testes de campo, que são testes diretamente no cenário de operação, que traz resultados mais fidedignos, entretanto tem uma execução mais dispendiosa.

Entendendo os formatos de testes disponíveis, Gualberto et al. (2020) destaca as bancadas de teste, porque apesar de não possuírem resultados tão exatos como testes de campo, eles possibilitam a variação de algumas condições, de forma a prever o comportamento do lubrificante caso haja variações no sistema em que ele será aplicado. Dessa forma, garante-se que o lubrificante que terá um bom desempenho caso as condições de operação sejam alteradas de forma involuntária ou mesmo que seja uma alteração planejada, evitando que sejam necessários novos testes com as novas condições.

De forma geral, em cada tipo de teste, aplica-se uma força com determinada intensidade em um intervalo de tempo, e analisa-se o desgaste do material no momento inicial e após o processo. Alguns exemplos de testes podem ser vistos na Figura 21.

Figura 21 - Teste tribológico a) *pin and vee block*, b) *block on ring*, c) *four ball* e d) *block on ring*.



Fonte: Gualberto et al. (2020)

Os testes tribológicos são utilizados para a avaliação da “lubricidade de biolubrificantes, biocombustíveis e aditivos” (GUALBERTO et al., 2020). Na Tabela 6, a lubricidade de alguns fluidos é analisada, a fim de identificar qual o melhor lubrificante, sendo resultados de trabalhos cujo intuito era entender o impacto da variação de uma característica, como adição de um aditivo, ou comparar biolubrificantes. Ressalta-se que entre dois lubrificantes com formulações completamente distintas, é possível que um deles seja melhor em um cenário de operação e inferior em outro. Mas nos casos apontados na Tabela 6, como são formulações similares, por exemplo, ao comparar o óleo SAE 10W30 com e sem grafeno como aditivo, o intuito é verificar se o grafeno foi capaz de melhorar a lubricidade do composto, se aprimorou uma de suas propriedades ou se não faz sentido utilizá-lo.

Tabela 6 - Testes tribológicos para a avaliação da lubrificidade de biolubrificantes, biocombustíveis e aditivos.

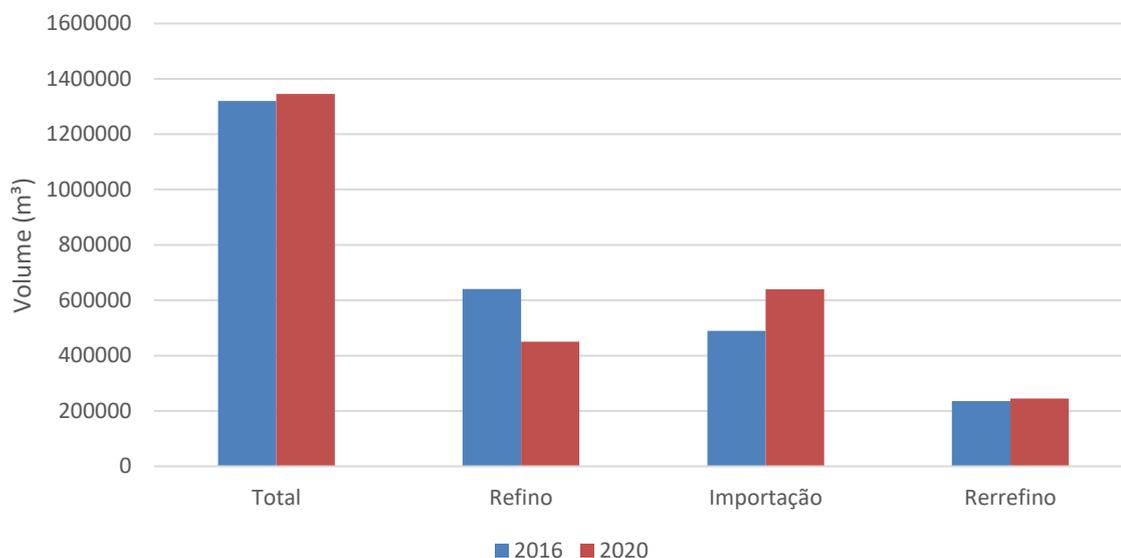
Tipo de teste	Fluidos Analisados	Duração do teste	Melhor performance
<i>Pin on disk</i>	Biolubrificantes à base de óleo de palma e óleo hidráulico	1 hora	Biolubrificante à base de óleo de palma
<i>Pin on disk</i>	Óleo SAE 10W30 com e sem grafeno como aditivo	2 horas	Lubrificante com grafeno
<i>Pin on disk</i>	Diferentes concentrações da mistura de biolubrificante e biodiesel feito à base de óleo de cozinha usado	1 hora	Mistura com 10% de óleo lubrificante com biodiesel
<i>Four ball</i>	Biolubrificante à base de óleo de palma sem TBHQ e com TBHQ	1 hora	Biolubrificante com TBHQ
<i>Four ball</i>	Lubrificante mineral e biolubrificante adicionado de óxido de titânio	0,1 hora	Biolubrificante adicionado de óxido de titânio
<i>Four ball</i>	Lubrificante mineral com partículas suspensas de óxido de cobre e sem partículas suspensas	0,25 hora	Lubrificante com partículas suspensas de óxido de cobre
<i>Block on ring</i>	Biolubrificante à base de óleo de carnaúba	2 horas	Não houve comparação
HFRR	Diesel-etanol e biodiesel-etanol	0,8 hora	Não houve comparação
HFRR	Diferentes concentrações da mistura de biolubrificante e biodiesel feito à base de óleo de cozinha usado	0,3 hora	Mistura com 10% de óleo lubrificante com biodiesel

Fonte: Gualberto et al. (2020).

10 O MERCADO DE LUBRIFICANTES E PROJEÇÕES

O Brasil é autossuficiente em petróleo (GAUTO; ROSA, 2013), mas, observa-se no gráfico representado na Figura 22, que ele não é autossuficiente em óleos básicos lubrificantes. Isso significa que ele produz petróleo o suficiente para atender à demanda nacional, entretanto, não refina o suficiente para atender a demanda nacional de derivados como os óleos básicos. Desse fato, tem-se que o Brasil possui matéria-prima o bastante para ser explorada, que é o petróleo bruto, mas ainda não tem indústrias de refino o suficiente para atender a demanda interna de derivados, de tal forma que importa cerca de 48% dos óleos básicos utilizados, sendo os EUA seu maior fornecedor. Além disso, é importante ressaltar que ainda que o país seja autossuficiente em petróleo e possua capacidade de refino, provável que seriam feitas importações, pois, como a qualidade e as características do petróleo variam de acordo com o local de extração, poderiam demandar ajustes de carga.

Figura 22 - Comparativo das formas de obtenção de óleos básicos no Brasil de acordo com o volume (m³), nos anos de 2016 e 2020.

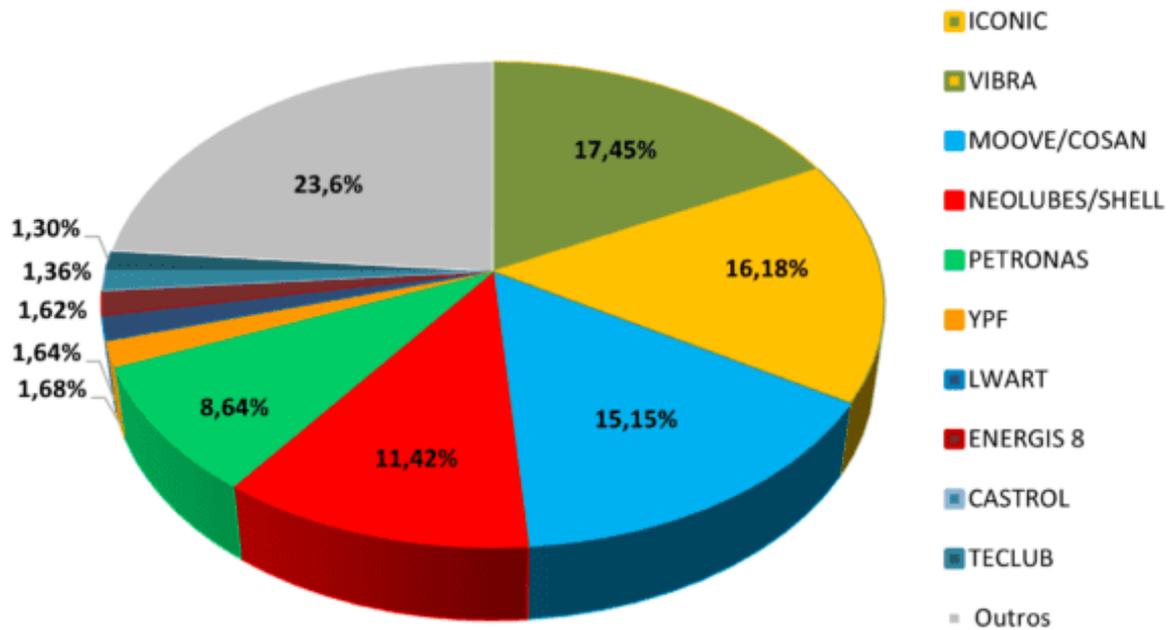


Fonte: Adaptado de ANP (2022a).

Já a Figura 23 demonstra a participação das maiores empresas no mercado Brasileiro, de acordo com o volume comercializado, sendo que empresas com contribuição pouco significativa, com percentual abaixo de 1,3%, foram agrupadas em um único grupo. Observa-se que as empresas que tiveram as maiores contribuições em volume foram: Iconic com

17,45%, Vibra Energia com 16,18% e Cosan Lubrificantes com 15,15% do total de lubrificantes comercializados no mercado brasileiro.

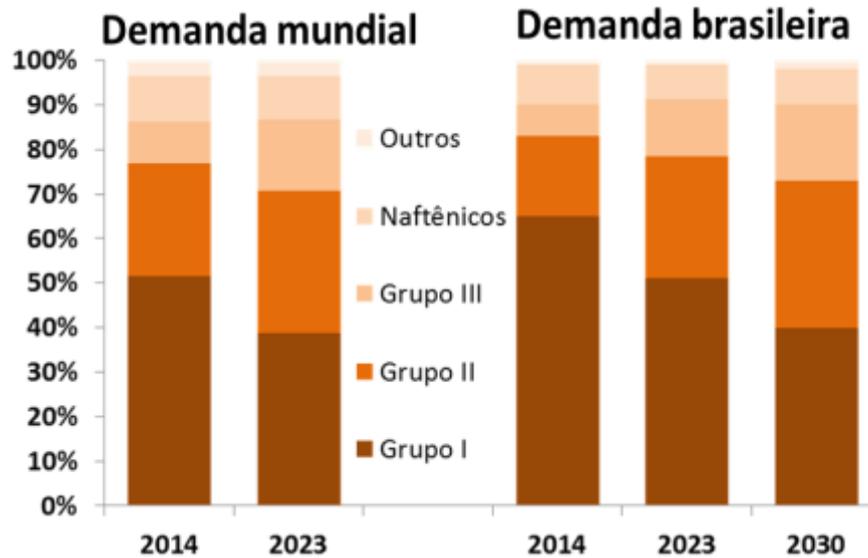
Figura 23 – Percentual de participação das empresas no mercado brasileiro de lubrificantes em 2022, de acordo com o volume comercializado



Fonte: Portal Lubes (2023).

Referente à classificação API, observa-se maior demanda pelos grupos I e II, que são óleos básicos minerais, de acordo com a Figura 24, o que era o esperado, pois esses são os lubrificantes com menor custo e boa eficiência quando comparados com os demais. Há uma projeção de queda de demanda para esses grupos, pois conforme mencionado, as novas tecnologias em sistemas mecânicos exigem lubrificantes com desempenho cada vez maiores, sendo assim, os lubrificantes sintéticos ganham força, apesar do seu maior custo. Além disso, espera-se que alternativas como biolubrificantes cresçam cada vez mais e essa dependência do petróleo diminua.

Figura 24 - Projeção da demanda de óleos básicos por grupo API.

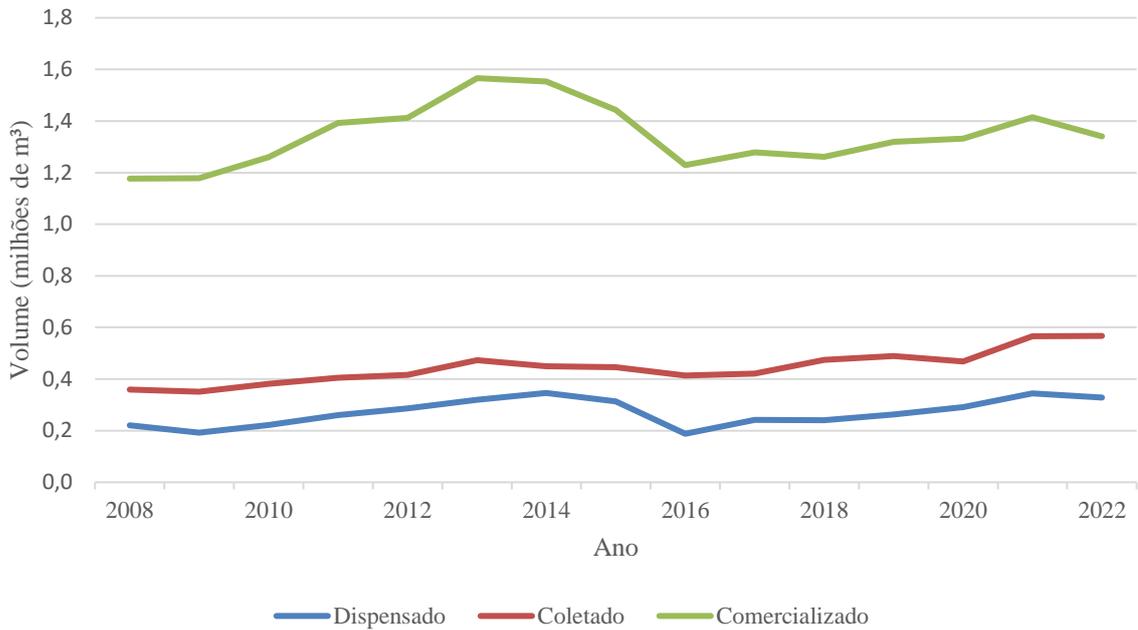


Fonte: ANP (2019b).

Segundo relatório global da Grand View Research Inc. (GVR) publicado em 2021, o mercado global de lubrificantes cresceu a uma taxa de 2,4% ao ano entre 2015 e 2021. Para os próximos anos, há uma projeção de que o crescimento aumente para 3,7% ao ano entre 2021 e 2028 (GVR, 2021).

Em relação ao mercado brasileiro, não há um padrão bem definido, de forma que não se observa o mesmo comportamento que o mercado global, de acordo com a Figura 25, que demonstra a evolução do volume brasileiro anual de lubrificantes e foi construída a partir de uma compilação de dados disponibilizados pelos painéis dinâmicos da ANP (2022b) e pelo trabalho de Duque (2018). Do volume total de lubrificantes, uma pequena parcela não gera “resíduos destináveis ao rerrefino ou que são comercializados com outro produtor ou importador – essa parte é dispensado de coleta” (DUQUE, 2018). A terceira curva disponível na Figura 25 é o volume de lubrificante coletado ao longo dos anos no Brasil.

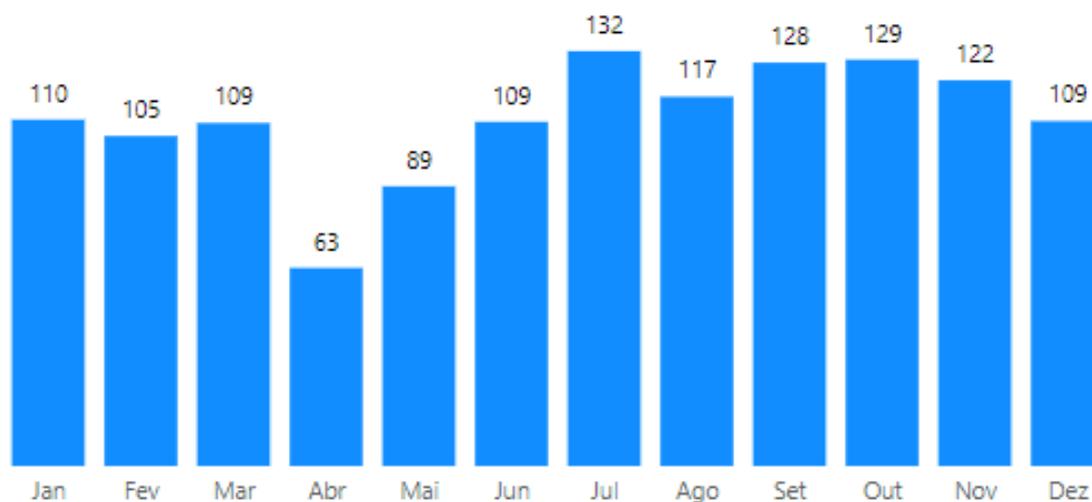
Figura 25 - Evolução do volume de lubrificantes no mercado brasileiro.



Fonte: Adaptado de ANP (2022b).

Um aspecto importante é referente ao perfil de volume de lubrificantes no Brasil no ano de 2020, ilustrado na Figura 26. O início da pandemia do Covid-19 no Brasil ocorreu em fevereiro de 2020, mês em que o primeiro caso no país foi identificado e que o Ministério da Saúde declarou estado de emergência da saúde pública (AGÊNCIA BRASIL, 2021). Em março de 2020, o Ministério da Saúde publicou uma portaria definindo a transmissão comunitária em todo o país e vários eventos se sucederam nos meses seguintes. Dessa forma, ao observar a Figura 26, se torna perceptível o impacto da pandemia no setor de lubrificantes, em que o volume comercializado em abril atingiu o menor valor que se tem notícia nos últimos anos (ANP, 2022b).

Figura 26 - Volume comercializado de lubrificantes no Brasil em 2020, em milhões de m³, de acordo com os meses do ano.



Fonte: ANP (2022b).

Ressalta-se que apesar disso, a taxa de crescimento do volume de vendas de lubrificantes no fechamento de 2021, atingiu um pico de 9,4% em relação ao ano anterior, segundo Portal Lubes (2021), mostrando grande recuperação, pois 2020 foi o ano de auge da pandemia de Covid-19 e teve uma baixa global na indústria automotiva de cerca de 23% (GVR, 2021), que, conseqüentemente, refletiu no baixo crescimento do mercado de lubrificantes. Outro fator que explica o pico de volume alcançado em 2021, foi o aumento da venda de motos. Segundo o Jornal da Band (2021), a venda de motos no Brasil cresceu 47% em 2021, em virtude do aumento do delivery. Isso porque, para minimizar os impactos do Covid-19, incentivou-se que as pessoas ficassem em casa sempre que possível, optando assim, por delivery ao invés de fazer compras de forma presencial.

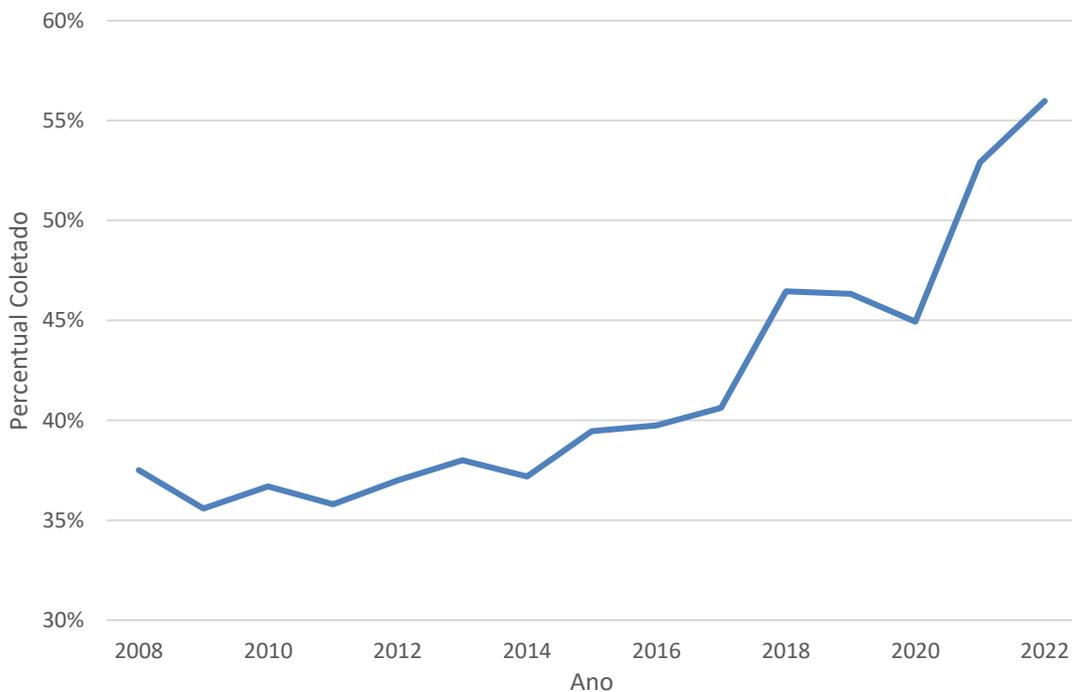
Entretanto, o volume voltou a cair em 2022, fechando o ano com uma queda de 5,24%, em relação à 2021. Essa queda pode estar atrelada à queda de vendas no setor automotivo, que apesar de ter um crescimento de volume em relação ao ano de 2021, teve uma queda de 0,7% nas vendas. Trazendo essa informação para a discussão do aumento do *delivery* em 2021, essa queda pode estar associada ao fato de que os grandes *players* do mercado de *delivery* se consolidaram como dominantes e como houve muitas aquisições de veículos em 2021, isso foi o suficiente para suprir o pico da demanda, dando uma estabilidade ao setor (PORTAL LUBES, 2023).

Para os próximos anos, em um cenário pós pandemia, de acordo com publicação da Segs (2021), há uma expectativa de crescimento anual de 1,5% e 2% em volume, sendo o

foco dos investimentos em sustentabilidade e eficiência, pois há uma preocupação cada vez mais latente das empresas na redução de emissão de carbono e minimização dos impactos ambientais desse setor.

Calculando a diferença do volume comercializado e do dispensado, que estão demonstrados na Figura 25, obtêm-se a base de cálculo para as metas de coleta. Dividindo-se o volume coletado pela base de cálculo, é possível obter o gráfico disponível na Figura 27, que mostra o percentual de lubrificantes coletados ao longo dos anos. Conforme mencionado anteriormente, as metas são estabelecidas pela ANP, para cada uma das regiões brasileiras.

Figura 27 - Evolução do percentual de lubrificantes coletados no mercado brasileiro.



Fonte: Adaptado de ANP (2022b).

Embora o volume referente a base de cálculo tenha tido pequenas variações ao longo dos anos (ANP, 2022b), o percentual coletado vem aumentando significativamente, o que corrobora as discussões anteriores relacionadas à minimização dos impactos ambientais desse setor, uma maior preocupação das empresas com a logística reversa dos lubrificantes. Junto a essa preocupação, observa-se também um aumento com o passar dos anos das metas de coleta estabelecidas pela ANP (2022b), que vem sendo alcançada de forma consistente. Vale lembrar que mesmo que uma empresa fique com o percentual acima da meta geral, ela ainda pode pagar multas se não cumprir a meta de algum estado específico.

11 IMPACTOS AMBIENTAIS E LOGÍSTICA REVERSA

Há dois tópicos muito importantes envolvendo o ciclo produtivo dos lubrificantes: o fato de que o principal recurso utilizado na sua produção é um material não renovável, que está sendo consumido rapidamente, e o outro são os impactos ambientais gerados tanto na sua produção quando no seu descarte na natureza.

11.1 Óleos lubrificantes usados e/ou contaminados (OLUC)

Com o decorrer do tempo, os lubrificantes mudam a sua composição e são formados produtos da oxidação, obtidos a partir de reações que ocorrem no óleo lubrificante. Esses resíduos alteram as propriedades do fluido, fazendo com que, após determinado tempo de uso, ele seja classificado como óleo lubrificante usado.

Além das suspensões sólidas que se formam naturalmente com o uso do lubrificante, também pode ocorrer sua contaminação, dependendo das condições em que ele opera, por substâncias como combustíveis, por exemplo (DUQUE, 2018). Também há os compostos que foram utilizados como aditivos e impurezas e materiais metálicos das peças que passaram pelo processo de desgaste e foram “carregados” pelo lubrificante. Por isso, os OLUC oferecem risco ao meio ambiente e à saúde humana, sendo catalogados como perigosos, devido à sua toxicidade, segundo classificação da ABNT (2004). Dessa forma, há uma preocupação com a coleta desses resíduos, sendo a ANP o órgão que estabelece diretrizes para essa coleta e percentuais que devem ser coletados por cada empresa de lubrificantes, de acordo com o volume comercializado em cada uma das regiões brasileiras. Caso as empresas não atinjam a meta de coleta, são cobradas multas pela ANP. O lubrificante coletado pode ser reutilizado como óleo básico, após passar pelo processo de refino.

Outro ponto de atenção é a troca do óleo lubrificante. Não há um prazo de validade exato, assim como na maioria dos produtos utilizados cotidianamente, pois ele perde sua eficiência de acordo com as condições de operação do equipamento no qual foi aplicado e com a frequência de uso. Dessa forma, há duas alternativas para decidir quando é necessária a troca: de acordo com as recomendações do fabricante do equipamento (encontradas em seu manual) ou a partir de testes para verificar a qualidade do lubrificante.

Sendo assim, podem ser utilizados equipamentos para verificar a presença dos produtos de oxidação nos lubrificantes, além de testes físico-químicos e medição de algumas

propriedades. De modo que um conjunto de testes são selecionados pelos fabricantes para estabelecer o tempo médio para a troca do óleo, mas, como mencionado, esse tempo pode variar de acordo com o cenário de aplicação do lubrificante.

Em seu estudo avaliando a lubrificação de motores de ônibus alimentados com biodiesel, Pereira (2005) realizou uma série de testes físico-químicos para avaliar os efeitos do uso desse combustível na degradação do óleo lubrificante do motor. Ele identificou que a viscosidade foi a propriedade que mais se degradou com o tempo de uso do lubrificante e, no cenário avaliado, determinou a vida útil do lubrificante como sendo de 9.900 km para o caso de veículos biarticulados, e de 13.100 km para os veículos articulados.

11.2 Rerrefino

Conforme abordado neste trabalho, uma pequena parcela de lubrificantes é produzida através de vegetais, sendo esses uma alternativa de matéria-prima, pensando na substituição do petróleo no futuro deste setor. Entretanto, como em muitos casos os óleos vegetais têm propriedades inferiores aos produzidos do petróleo, uma alternativa que já é utilizada é o rerrefino, que é um processo utilizado com a finalidade de dar uma destinação adequada para os lubrificantes usados e possibilitar seu reuso, além de suprir uma parte da alta demanda por óleos básicos, reduzindo assim o consumo de petróleo. Este é um processo de reciclagem do OLUC, que também pode ser visto como uma boa prática e vantagem competitiva de empresas que o utilizam. Além disso, o óleo básico virgem, que é aquele que não veio de um processo de reciclagem, pode ser misturado com óleo de rerrefino, prática que já utilizada atualmente.

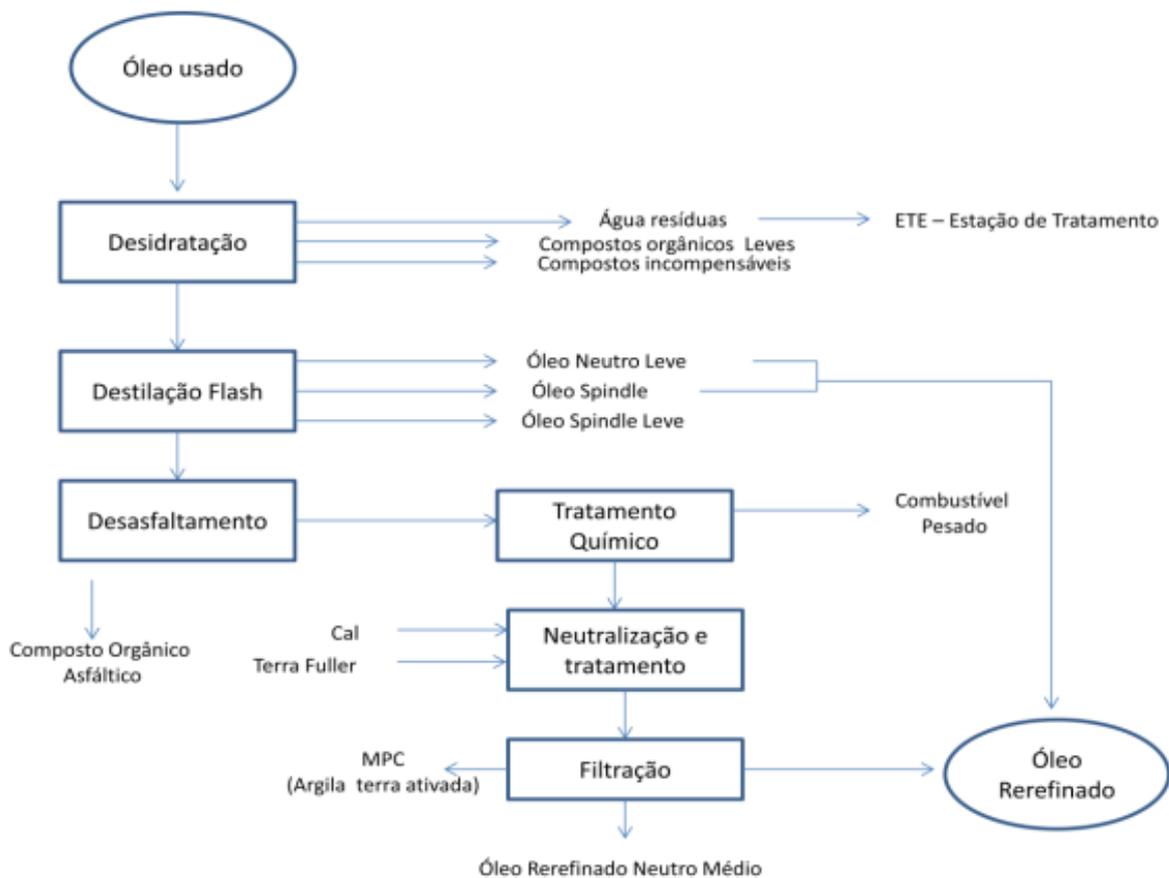
A monografia de Desiderato (2009) traz um processo de rerrefino em escala laboratorial e a tese de doutorado de Canchumani (2013) avalia o ciclo de vida do setor de óleos básicos no Brasil, com foco na destinação dos óleos básicos usados e análise de impactos ambientais causados pelo processo de rerrefino.

Segundo Canchumani (2013), o processo de tratamento dos OLUC pode envolver um dos seguintes objetivos: tratamento para obtenção de óleo básico, que será reutilizado para produção de lubrificantes, sendo este denominado rerrefino, ou para produzir outros materiais que terão maior valor para o mercado energético, não sendo este um dos focos desse trabalho.

Há diferentes tecnologias que podem ser utilizadas no processo de rerrefino, sendo elas: o processo ácido-argila, aponta ser o mais utilizado no Brasil, por ter menor

complexidade e custo, processo evaporador de filme e processo de destilação hidrogenação (CANCHUMANI, 2013). As etapas do processo de rerrefino por destilação são desidratação, destilação, desasfaltamento, tratamento químico, neutralização e clarificação e filtração, o que se assemelha ao processamento do óleo virgem (CANCHUMANI, 2013). A diferença do processo de rerrefino para o refino é a presença de mais etapas de tratamento, justamente por conta de envolver uma matéria-prima com muito mais impurezas, conforme ilustrado na Figura 28, que apresenta o fluxograma de um processo de rerrefino (CANCHUMANI, 2013).

Figura 28 - Fluxograma do processo de rerrefino.

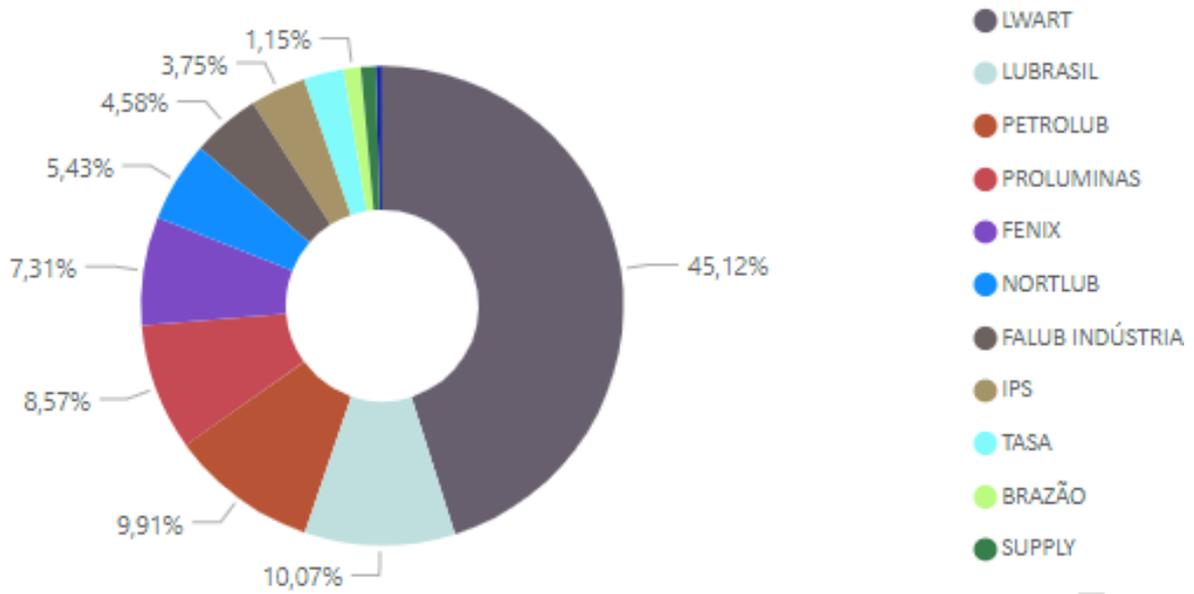


Fonte: Canchumani (2013).

No Brasil, há 73 instalações autorizadas de pontos de coleta de óleos lubrificantes usados e 13 rerrefinarias. A produção do primeiro semestre de 2022 pode ser vista na Figura 29, onde em um total de 184 mil m³ de óleo produzidos, a Lwart é responsável por quase metade de produção. Além disso, é a primeira e única rerrefinadora da América Latina a produzir óleo básico do Grupo II. Praticamente todo o resto é óleo básico do Grupo I, o que

representa um grande desafio para o setor, pois com a evolução da tecnologia das máquinas, cada vez mais lubrificantes de melhor qualidade são exigidos pelo mercado.

Figura 29 - Produção de óleos básicos por rerrefino no Brasil.



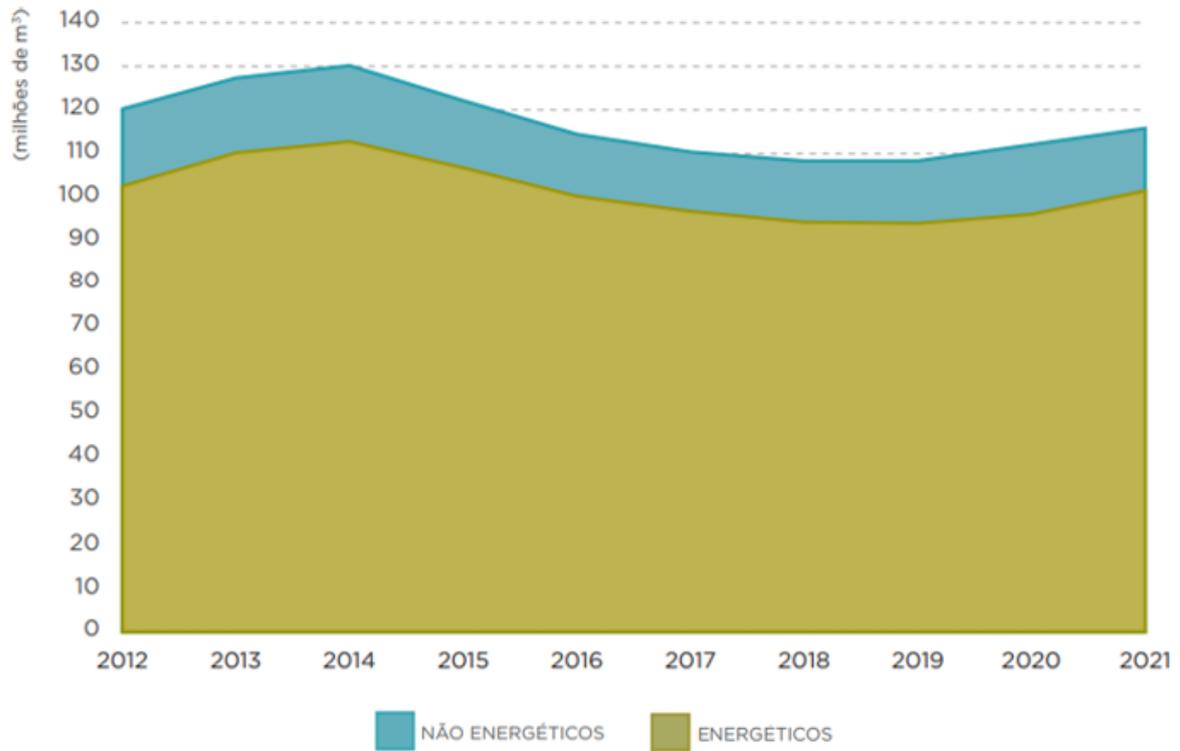
Fonte: ANP (2022b).

Quando se compara a produção de óleos básicos por rerrefino com a produção de lubrificantes no mesmo período (primeiro semestre de 2022), de acordo com a ANP (2022b), observa-se que o volume produzido por rerrefino é cerca de 27% da produção de lubrificantes, ou seja, é necessário que haja uma grande expansão nesse setor para que atenda a demanda brasileira, não só em questão de volume, mas também de qualidade.

11.3 Perspectivas para o setor

Considerando o cenário atual, onde o petróleo é a principal matéria-prima para diversos tipos de óleos básicos, é importante entender que a substituição desse recurso é muito mais complexa do que apenas encontrar uma alternativa para produção de lubrificantes. Isso porque, de acordo com a Figura 30, observa-se que de todo o petróleo extraído, menos de 20% é utilizado para produção de não energéticos. Segundo relatório anual da ANP (2022), derivados não energéticos do petróleo são aqueles que, embora tenham um conteúdo energético considerável, são utilizados para outras finalidades, como lubrificantes, coque, nafta, dentre outros.

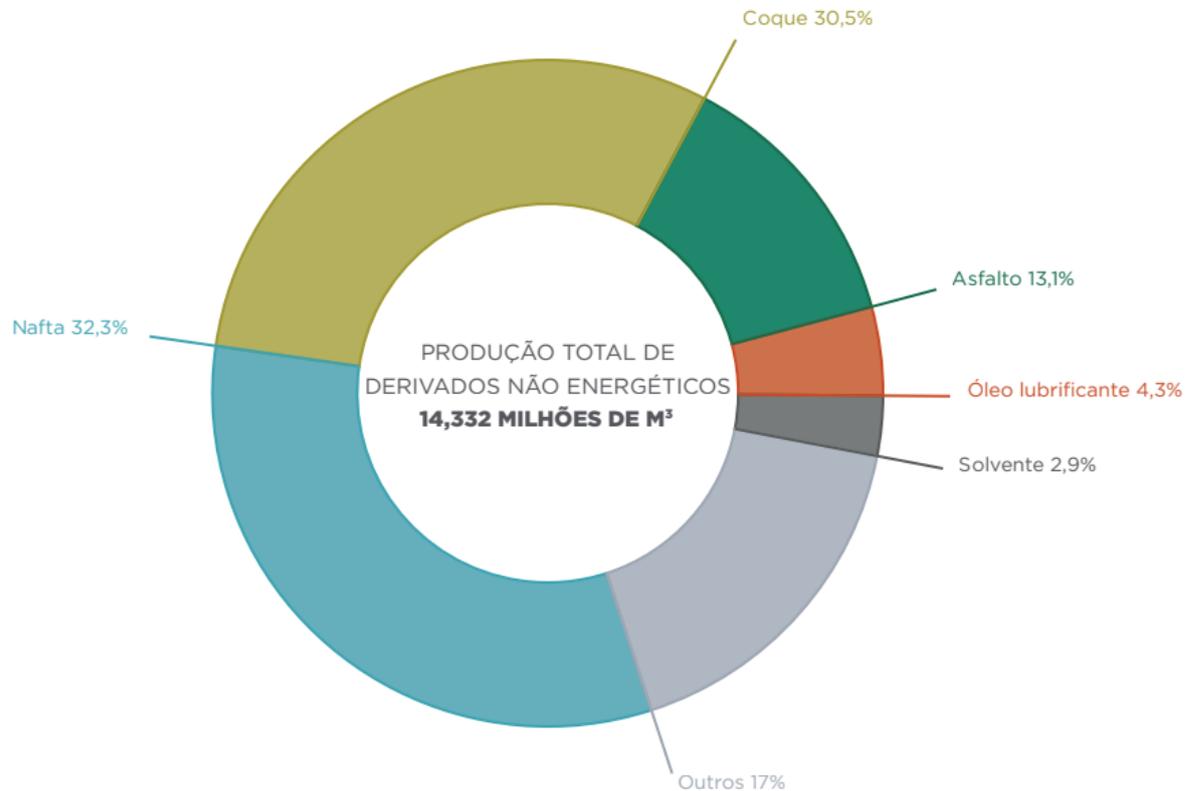
Figura 30 – Evolução da produção de derivados do petróleo.



Fonte: ANP (2022b).

Segundo a Figura 31, que aponta a distribuição percentual da produção de derivados não energéticos do petróleo, verifica-se que dentre eles, os lubrificantes representam 4,3% da produção, ou seja, uma pequena parcela. A partir desse dado, somado à informação da Figura 30, conclui-se que os óleos básicos representam apenas 0,8% de todo o petróleo refinado em 2021.

Figura 31 – Distribuição, de acordo com o uso, da produção de derivados não energéticos do petróleo em 2021.



Fonte: ANP (2022b).

Sendo assim, os óleos básicos cumprem o papel de um subproduto do refino de petróleo, sendo usados posteriormente para produção de lubrificantes, sejam eles minerais ou sintéticos. Dessa forma, a redução do uso de petróleo como matéria-prima para produção de lubrificantes está atrelada sobretudo, à diminuição do uso desse recurso para derivados energéticos

12 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o objetivo do trabalho foi alcançado, trazendo um levantamento bibliográfico sobre lubrificantes de forma geral, bem como aspectos relevantes, como principais propriedades, métodos de produção e perspectivas de mercado, contribuindo para conhecimento deste setor e como base para pesquisas futuras, cujo intuito seja aprofundar-se em algum dos temas discutidos.

Gauto e Rosa (2013) mencionam a preocupação com a velocidade com que o petróleo está sendo explorado, sendo uma matéria-prima que levou 400 milhões de anos para ser formada, com perspectiva de ser esgotada em dois ou três séculos pela humanidade. Vale ressaltar que essa “validade” do petróleo pode ser estendida, por exemplo através do reuso dos produtos gerados, como no caso dos lubrificantes, que podem ser reutilizados após o processo de rerrefino.

O rerrefino além de reduzir essa dependência, vem ganhando cada vez mais força, principalmente pelo fato de que já existem legislações da ANP que tornam obrigatória a coleta, pelos fabricantes, de um percentual dos lubrificantes usados e, conforme mencionado no trabalho, já são produzidos óleos básicos do grupo II pelo rerrefino.

Dada a dependência do setor de lubrificantes com o petróleo, também é importante o investimento no estudo da produção de lubrificantes através de outras matérias-primas, para que esse setor não seja impactado diretamente por flutuações no mercado de petróleo. Sendo assim, minimizar, ou até mesmo eliminar, essa dependência, contribuirá para trazer uma maior estabilidade ao mercado de lubrificantes.

Além disso, os biolubrificantes são novos produtos que vêm sendo desenvolvidos com a finalidade de substituir o petróleo, causando um menor impacto ao meio ambiente, mas é inegável que atingir a mesma qualidade dos produtos derivados do petróleo, mantendo um custo acessível, é um grande desafio para a ciência.

Como sugestões para trabalhos posteriores e complementares a esse, um tema que poderia ser mais explorado e que tem diversas possibilidades é o de aditivos dos lubrificantes. Pois, para cada tipo, há diversas classificações e compostos. Seria interessante um trabalho que entre nesse tema, abordando a estrutura molecular desses compostos, suas interações com lubrificantes e com outros aditivos, sobre o impacto ambiental de cada tipo de aditivo, intervalos de concentração que eles podem ser utilizados, sua presença no mercado brasileiro e internacional, dentre outros aspectos.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA BRASIL. **Primeiro caso de covid-19 no Brasil completa um ano**. 2021. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2021-02/primeiro-caso-de-covid-19-no-brasil-completa-um-ano>. Acesso em: 05 fev. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**, 2022a. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/arquivos-anuario-estatistico-2022/anuario-2022.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Painéis Dinâmicos da ANP**, 2022b. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp>. Acesso em: 20 set. 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Panorama dos óleos básicos no Brasil. Projeto: Revisão das portarias ANP N° 129/99 e N° 130/99**, 2019a. Disponível em: <http://www.simepetro.com.br/wp-content/uploads/ANP-RELATORIO-TECNICO-2-2016-SBQ-CPT-DF-PANORAMA-DOS-OLEOS-BASICOS-NO-BRASIL.pdf>. Acesso em: 20 set. 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Produção de derivados de petróleo e processamento de gás natural**, 2022c. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural>. Acesso em: 20 set. 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução ANP nº 804, de 20.12.2019, DOU 23 de dezembro de 2019**, 2019b. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-804-2019>. Acesso em: 24 jun. 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Teste de poço**, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/gestao-de-contratos-de-e-p/orientacoes-aos-concessionarios-e-contratados/teste-de-poco>. Acesso em: 24 nov. 2022.
- ALIBABA. **Máquina de mistura de óleo base de óleo lubrificante, óleo equipamento misturador**. 2023. Disponível em: <https://portuguese.alibaba.com/product-detail/Base-oil-to-lube-oil-blending-60618302804.html>. Acesso em 24 jan. 2023
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=936>. Acesso em: 05 fev. 2023
- BART, J. C. J.; GUCCIARDI, E.; CAVALLARO, S. **Biolubricants: Science and Technology**. Mesina: 1st Ed. Woodhead Publishing Limited, 2013. 920 p.

BORGNACKE, C.; SONNTAG, Richard E. **Fundamentos da termodinâmica**. Editora Blucher, 2018.

CADIUM. **Entendendo um pouco mais sobre óleos lubrificantes nos processos de fabricação de metais**. 2023. Disponível em: <https://cadium.com.br/entendendo-um-pouco-mais-sobre-os-processos-de-fabricacao-de-metais/>. Acesso em: 05 fev. 2023

CANCHUMANI. **Óleos lubrificantes usados: um estudo de caso de avaliação de ciclo de vida do sistema de rerrefino no brasil**. 2013. Disponível em <http://antigo.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/canchumani.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2022

CARRETEIRO, R. P.; BELMIRO, P. N. A. **Lubrificantes e lubrificação industrial**. Rio de Janeiro: Ed. Interciencia, 2006. 504p.

CENTRO BRASILEIRO DE INFRAESTRUTURA. **O que são os custos de extração do petróleo**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://cbie.com.br/o-que-sao-os-custos-de-extracao-do-petroleo/>. Acesso em: 14 nov. 2022

CENTRO BRASILEIRO DE INFRAESTRUTURA. **Quais as diferenças entre os tipos de produção de petróleo?**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://cbie.com.br/artigos/quais-as-diferencas-entre-os-tipos-de-producao-de-petroleo>. Acesso em: 14 nov. 2022

CESTARI. **Helicon**. 2002. Disponível em: <http://wegcestari.com.br/index.php/pt/downloads/manuais-tecnicos>. Acesso em: 14 nov. 2022

COSAN. **A história da marca Mobil**. Rio de Janeiro: Ed. Outuno, 2013. 224 p.

DESIDERATO, P. R. M. **Rerrefino de óleo lubrificante usado**. 2009. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/118868/desiderato_prm_tcc_bauru.pdf?sequence=1. Acesso em 14 ago. 2022

DUQUE, J. F. **Avaliação do mercado brasileiro de óleos lubrificantes: Produção, consumo, reaproveitamento e perspectivas**. 2018. Disponível em: <http://tpqb.eq.ufrj.br/download/avaliacao-do-mercado-brasileiro-de-oleos-lubrificantes-producao-consumo-reaproveitamento.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2022

EBAY. **1923 Vacuum Oil Co GARGOYLE LUBRICATING 600-W Steam Cylinder Oil Demon Ad**. 2023. Disponível em: <https://www.ebay.com/itm/155216927872>. Acesso em: 30 nov. 2022

ENGE OIL. **Lubrificantes Sintéticos**, 2019. Disponível em: <https://engeoil.com.br/>. Acesso em: 24 jun. 2022.

FARAH, M. A. **O Petróleo e seus Derivados**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2012. XI, 259p. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2151-5/>. Acesso em: 24 jun. 2022

GAUTO, M. A.; ROSA, G. R. **Química industrial (Tekne)**. 2013. E-book. ISBN 9788565837613. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788565837613/>. Acesso em: 12 set. 2022.

GRAND VIEW RESEARCH. **Lubricants Market Size, Share, Industry Report, 2021-2028**, 2021. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/lubricants-market/request/rs1>. Acesso em: 24 jun. 2022.

GROOVER, M. P. **Introdução aos Processos de Fabricação**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2014, 758p.

GUALBERTO et. al. **Metodologias de ensaios de lubricidade: uma revisão de literatura**. 2020. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/26745>. Acesso em: 24 jun. 2022.

INMETRO. **Tribologia**. 2008. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/metrologia-cientifica/laboratorios-de-metrologia-do-inmetro/materiais-e-superficies/tribologia>. Acesso em: 24 nov. 2022.

KARTER. **Lubrificantes Industriais: qual sua importância?**. 2023. Disponível em: <https://karter.com.br/lubrificantes-industriais-sua-importancia/>. Acesso em: 24 nov. 2022.

LUBRAX. **FISPQ - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos**. 2021. Disponível em: https://www.lubrax.com.br/sites/lubrax/files/fichas-de-seguranca/FISPQ_BR_PT_LUBRAX_TECNO_15W40.pdf. Acesso em: 24 nov. 2022.

MATOS, P. R. R.de. **Biolubrificantes**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/qualidade-de-produtos/rp/biolubrificantes.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2023.

MECANICA CASEIRA. **Sistemas de lubrificação**. 2010. Disponível em: <http://mecanicacaseira.blogspot.com/2010/04/sistema-de-lubrificacao.html>. Acesso em: 07 set. 2022

MOOVELUB. **Óleo para motor de carro**. 2022. Disponível em: <https://moovelub.com/mobil/oleo-para-motor-de-carro/mobil-1-5w-30/>. Acesso em: 24 jun 2022.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas**. UFLA. Grupo A, 2013. E-book. ISBN 9788582600238. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582600238/>. Acesso em: 21 jan. 2023.

PEREIRA, F. M. M. **Estudo da degradação do óleo lubrificante em motores Alimentados com biodiesel B100**. 2005. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1345/1/CT_PPGEM_M_Pereira%2C%20Flavio%20Marcos%20de%20Melo_2015.pdf. Acesso em: 27 fev. 2023.

PORTAL LUBES. **Mercado brasileiro de lubrificantes supera expectativas e fecha 2021 com 9,4% de alta**. 2022. Disponível em: <https://portallubes.com.br/2022/02/mercado-brasileiro-de-lubrificantes-fecha-2021-com-alta>. Acesso em: 24 jun. 2022.

PORTAL LUBES. **Mercado brasileiro de lubrificantes termina 2022 em queda de 5,24%.** 2023. Disponível em: <https://portallubes.com.br/2023/01/mercado-brasileiro-de-lubrificantes-em-queda/>. Acesso em: 24 jan. 2023.

PURQUÉRIO, B. de M. **Tribologia: II lubrificantes: III Regimes de lubrificação.** 1998. Disponível em < <http://repositorio.eesc.usp.br/handle/RIEESC/7757?show=full>. Acesso em: 24 nov. 2022.

SENAI. **Mecânica: Lubrificação.** 1997. Disponível em: <https://en.calameo.com/books/0051787246ee316023aa2>. Acesso em: 02 fev. 2023.

SHELL. **Shell Gadus – Graxa.** 2023. Disponível em: <https://www.shell.com.br/shell-para-negocios/lubrificantes-para-negocios/shell-gadus-graxas.html>. Acesso em: 07 fev. 2023.

TAMCO. **Fabricação e Envase de Lubrificantes.** 2023. Disponível em: <https://tamcolubrificantes.com.br/servicos.php>. Acesso em 07 fev. 2023.

TEXACO. **Fundamentos de Lubrificação.** 2005. Disponível em: <https://azdoc.tips/preview/fundamentos-de-lubrificaao-texaco-5c18be3951ba2>. Acesso em: 07 set. 2022.

TEXACO. **Havoline Ultra W SAE 5W-40.** 2020. Disponível em: https://www.texaco.com.br/wp-content/uploads/2017/09/Hav-Ultra-W-5W40-SN_4nov2020_PT.pdf. Acesso em: 07 set. 2022.

TORENSMA, J. **Gargoyle motor oil.** 2022 Disponível em: <https://www.pinterest.fr/pin/gargoyle-motor-oil--359725088977692886/>. Acesso em: 12 set. 2022.