UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS

Mestrado Profissional

JARDEL FARIAS DUQUE

AVALIAÇÃO DO MERCADO BRASILEIRO DE ÓLEOS LUBRIFICANTES: PRODUÇÃO, CONSUMO, REAPROVEITAMENTO E PERSPECTIVAS

RIO DE JANEIRO
2018

JARDEL FARIAS DUQUE

AVALIAÇÃO DO MERCADO BRASILEIRO DE ÓLEOS LUBRIFICANTES: PRODUÇÃO, CONSUMO, REAPROVEITAMENTO E PERSPECTIVAS

Dissertação submetida ao Corpo Docente do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências

Orientador: Prof. Luiz Antonio d'Avila, D. Sc.

RIO DE JANEIRO

2018

CIP - Catalogação na Publicação

D946a

Duque, Jardel Farias
Avaliação do mercado brasileiro de óleos lubrificantes: produção, consumo, reaproveitamento e perspectivas / Jardel Farias Duque. -- Rio de Janeiro, 2018.
146 f.

Orientador: Luiz Antonio d'Avila.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, 2018.

1. óleo lubrificante. 2. logística reversa. 3. avaliação de mercado. 4. rerrefino. I. d'Avila, Luiz Antonio, orient. II. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

JARDEL FARIAS DUQUE

AVALIAÇÃO DO MERCADO BRASILEIRO DE ÓLEOS LUBRIFICANTES: PRODUÇÃO, CONSUMO, REAPROVEITAMENTO E PERSPECTIVAS

Dissertação submetida ao Corpo Docente do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências

Aprovada em 28 de agosto de 2018

Prof. Luiz Antonio d'Avila, D. Sc. (Orientador - UFRJ)

Prof. Estevão Freire, D. Sc. (UFRJ)

Eduardo da Silva Torres, D. Sc. (ANP)

Aos meus heróis:

pais,

mestres,

amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Dr. Luiz Antonio d'Avila pela orientação, compreensão, paciência e entusiasmo com que trata a pesquisa e o ensino, mesmo nos momentos mais adversos.

A todos os Professores e funcionários da Escola de Química/UFRJ, pela busca pela excelência, pelos ensinamentos nessa etapa da minha formação e pela estrutura montada para esse curso de mestrado profissional, cujos conceitos e disciplinas ensinados foram de imediata aplicação na minha prática laboral na ANP.

A todos os mestres que me conduziram até aqui, cultivaram a curiosidade e a busca pelo conhecimento.

Ao Estado Brasileiro, pelo privilégio da educação de qualidade, pública e gratuita nos ensinos básico, médio, graduação e pós-graduação. Todo o investimento público feito na minha formação reforça meu compromisso de retribuir a confiança depositada pela sociedade brasileira.

Agradeço aos colegas da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), em especial Rômulo Hansen, Diogo Valerio, Luiz Carlos Souza, Jader Souza e Theresa Portella, não só pela amizade, mas pelo esforço em tornar possível a obtenção dos dados que foram material de trabalho desta dissertação. Agradecimento especial também a todos aqueles que pavimentaram o caminho até aqui.

Aos meus pais, que tornaram tudo isso possível, agradeço pela vida, amor e exemplo.

Estendo o agradecimento aos outros pais de coração, Regina Oliveira dos Santos, Carlos Alberto dos Santos, Neide Maria de Oliveira e Neusa Márcia de Oliveira *(in memorian)* pelo apoio familiar.

À Mariana dos Santos, pelo amor, companheirismo e por ter compreendido os momentos mais difíceis na elaboração desta dissertação.

Aos membros da banca, desde já agradeço a presença e as sugestões.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES ..... **IX**
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS ..... **XII**
RESUMO ..... **XV**
ABSTRACT ..... **XVI**
1 INTRODUÇÃO **18**
1.1 CONTEXTO E MOTIVAÇÃO 18
1.2 OBJETIVO 20
1.2.1 Objetivo Geral 20
1.2.2 Objetivos Específicos 20
1.3 METODOLOGIA 20
1.4 ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO 22
2 ÓLEOS LUBRIFICANTES **24**
2.1 CONCEITO E CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS. 24
2.1.1 Propriedades Físicas 26
2.1.1.1 Viscosidade 26
2.1.1.2 Índice de Viscosidade 28
2.1.1.3 Ponto de Fluidez 30
2.1.1.4 Perda por evaporação 30
2.1.1.5 Ponto de fulgor 31
2.1.1.6 Aparência e Cor 31
2.1.1.7 Demulsibilidade 32
2.1.2 Propriedades Químicas 33
2.1.2.1 Índice de Acidez Total e Índice de Basicidade Total 33
2.1.2.2 Corrosividade 34
2.1.2.3 Presença de contaminantes externos 34
2.1.3 Propriedades Composicionais 36
2.1.3.1 Teor de Saturados 36
2.1.3.2 Enxofre 36
2.1.3.3 Resíduo de Carbono 37
2.1.3.4 Cinzas 37
2.1.3.5 Material Particulado e Número de Precipitação 37

2.1.4 Propriedades Toxicológicas 38
2.1.4.1 Extrato em DMSO 38
2.2 ÓLEOS BÁSICOS 39
2.2.1 Óleos básicos minerais 40
2.2.2 Óleos básicos sintéticos 46
2.2.3 Biolubrificantes 48
2.3 ADITIVOS PARA LUBRIFICANTES 48
2.3.1 Agentes estabilizantes e controladores de depósito 49
2.3.2 Agentes formadores de filme 49
2.3.3 Aditivos poliméricos 50
2.3.4 Outros aditivos 51
2.4 ÓLEOS LUBRIFICANTES ACABADOS 51
2.4.1 Motores a combustão interna 52
2.4.2 Engrenagens, transmissões e sistemas hidráulicos 60
2.4.3 Outros óleos lubrificantes acabados 63
2.5 QUALIDADE DOS ÓLEOS LUBRIFICANTES NO BRASIL 64
2.5.1 Especificações para os óleos básicos lubrificantes. 64
2.5.2 Registro de produtos e níveis mínimos de desempenho 65
2.5.3 Programa de Monitoramento da Qualidade de Lubrificantes (PML) 67
3 O MERCADO DE ÓLEOS LUBRIFICANTES 72
3.1 CADEIA DE SUPRIMENTO 72
3.1.1 Base normativa e requisitos à entrada 75
3.1.2 Infraestrutura nacional de produção 76
3.2 VENDAS INTERNAS DE ÓLEO LUBRIFICANTE ACABADO 79
3.2.1 Participações de mercado e índices de concentração 83
3.3 MERCADO INTERNACIONAL E COMÉRCIO EXTERIOR 86
3.4 BALANÇO VOLUMÉTRICO NACIONAL (DUQUE ET AL., 2017) 90
3.5 PERSPECTIVAS 95
4 A LOGÍSTICA REVERSA DE LUBRIFICANTES 98
4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS 98
4.1.1 Óleo lubrificante usado ou contaminado (OLUC) 98
4.2 HISTÓRICO 100
4.3 ESTRUTURAÇÃO ATUAL DO MERCADO 106
4.3.1 Agentes do mercado 106

4.3.2 Integração das atividades e verticalização 111
4.3.3 Volumes movimentados e distribuição geográfica..... 113
4.4 PERSPECTIVAS 123
5 CONCLUSÕES 127
REFERÊNCIAS 130
APÊNDICE 1 - TABELAS DE DADOS 144

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 DEFORMAÇÃO DE UM FLUIDO SOB APLICAÇÃO DE TENSÃO DE CISALHAMENTO FONTE: FOX ET AL. (2010) p.29 27

FIGURA 2 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE VISCOSIDADE FONTE: BELMIRO, P. E CARRETEIRO (2006) p 50 29

TABELA 1 GRUPOS DE ÓLEOS BÁSICOS DE ACORDO COM API/ATIEL FONTE: ADAPTADO DE BART; GUCCIARDI E CAVALLARO (2012) p. 35 E API (2012) 40

TABELA 2 CARACTERÍSTICAS COMPARADAS DE ÓLEOS BÁSICOS PARAFÍNICOS E NAFTÊNICOS. FONTE: COMPILADO DE BELMIRO, P. E CARRETEIRO (2006) E DO BRASIL ET AL. (2012) 41

FIGURA 3 ESQUEMA DE PROCESSAMENTO DE ÓLEOS BÁSICOS – ROTA SOLVENTE FONTE: ADAPTADO DE DO BRASIL ET AL. (2012) p. 238 44

FIGURA 4 ESQUEMA DE PROCESSAMENTO DE ÓLEOS BÁSICOS – ROTA HCC FONTE: ADAPTADO DE DO BRASIL ET AL. (2012) p. 247 .. 46

TABELA 3 GRAUS DE VISCOSIDADE SAE PARA ÓLEOS DE MOTORES – SAE J300 JAN/2015 FONTE: ADAPTADO DE SAE (2015) 54

FIGURA 5 CARACTERÍSTICAS DE VISCOSIDADE - TEMPERAURA DE ÓLEOS DE GRAU ÚNICO E MULTIGRAU FONTE: TOTTEN ET AL. (2003) p.225 55

FIGURA 6 EVOLUÇÃO DOS REQUISITOS DE APROVAÇÃO DOS NÍVEIS DE DESEMPENHO API (a) SÉRIE C - CICLO DIESEL E (b) SÉRIE S – CICLO OTTO. FONTE: ANP (2013) p.13 58

TABELA 4 GRAUS DE VISCOSIDADE SAE PARA ÓLEOS DE ENGRENAGENS – SAE J306 AGO/17 FONTE: ADAPTADO DE SAE (2017A) 62

TABELA 5 NÍVEIS MÍNIMOS DE DESEMPENHO DE LUBRIFICANTES ESTABELECIDOS PELA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA A PARTIR DE (BRASIL, 1999B;2007;2014B) 67

GRÁFICO 1 HISTÓRICO DE NÃO CONFORMIDADES DO PML ATÉ 2016. FONTE: Adaptado de VINHADO (2017) p. 87 69

GRÁFICO 2 COMPARATIVO ENTRE DIFERENTES INDICADORES DE QUALIDADE DO PML, PARA O ÚLTIMO BIMESTRE DE 2017. FONTE: (BRASIL, 2018B) 69

FIGURA 7 RECORTE DA CADEIA DE SUPRIMENTO DE LUBRIFICANTES FONTE: Elaboração própria com dados de DUQUE; MOREIRA E DUTRA (2017) P.59. 75

QUADRO 1 **RESOLUÇÕES DA ANP PARA O MERCADO DE LUBRIFICANTES FONTE: (DUQUE ET AL., 2017) 76**

FIGURA 8 **MAPA DA INFRAESTRUTURA DE PRODUÇÃO DE ÓLEO LUBRIFICANTE FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA COM DADOS DE BRASIL (2018A) E ALICEWEB/MIDC. SITUAÇÃO EM JANEIRO DE 2018. ..... 78**

GRÁFICO 3 **DISTRIBUIÇÃO DO MERCADO NACIONAL DE LUBRIFICANTES ACABADOS POR APLICAÇÃO, EM 2017. FONTE: ELABORAÇAÕ PRÓPRIA A PARTIR DE DADOS DE (BRASIL, 2018A) 80**

GRÁFICO 4 **COMERCIALIZAÇÃO APARENTE DE ÓLEO LUBRIFICANTE ACABADO E VARIAÇÃO ANUAL DO NÚMERO DE LICENCIAMENTO DE VEÍCULOS E DO PIB REAL, ENTRE 2008 E 2013, NO BRASIL. FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA COM DADOS DE (ANP (2017A); ANFAVEA, 2018; BANCO MUNDIAL, 2018; BRASIL (2017A);2018A)) 82**

GRÁFICO 5 **PERCENTUAL DE MERCADO DOS FORNECEDORES DE ÓLEO LUBRIFICANTE ACABADO EM 2017 NO BRASIL. FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA COM DADOS DE BRASIL (2018A) 83**

QUADRO 2 **ÍNDICE DE CONCENTRAÇÃO DO MERCADO DE LUBRIFICANTES ACABADOS EM 2017. FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA A PARTIR DE DADOS DE (BRASIL, 2018A) 85**

QUADRO 3 **COMPARAÇÃO DO NÍVEL DE CONCENTRAÇÃO EM MERCADOS BRASILEIROS DE DERIVADOS DE PETRÓLEO DE PETRÓLEO E BIOCOMBUSTÍVEIS. 85**

GRÁFICO 6 **EVOLUÇÃO DA DEMANDA MUNDIAL DE LUBRIFICANTES, EM MILHÕES DE TONELADAS. FONTE: MANG E GOSALIA (2017) 87**

GRÁFICO 7 **EVOLUÇÃO DA DEMANDA MUNDIAL DE LUBRIFICANTES, POR REGIÃO. FONTE:MANG E GOSALIA (2017) 88**

GRÁFICO 8 **DEMANDA REGIONAL PER-CAPITA DE LUBRIFICANTES EM 2015 (kg). FONTE: MANG E GOSALIA (2017) 89**

GRÁFICO 9 **EVOLUÇÃO DO COMÉRCIO EXTERIOR BRASILEIRO DE ÓLEOS LUBRIFICANTES BÁSICOS FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA A PARTIR DE DADOS DE (BELMIRO, P. N., 2014; PORTAL LUBES, 2018B) 90**

FIGURA 9 **BALANÇO VOLUMÉTRICO DO MERCADO BRASILEIRO DE LUBRIFICANTES ACABADOS E GRAXAS NO ANO DE 2016. FONTE: ADAPTADO DE DUQUE ET AL. (2017) 91**

GRÁFICO 10 **DIVISÃO DAS IMPORTAÇÕES BRASILEIRAS DE LUBRIFICANTES BÁSICOS POR PAÍS DE ORIGEM, EM 2016. FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA COM DADOS DO SISTEMA ALICEWEB (MDIC,2018) 93**

FIGURA 10 MOTOR AUTOMOTIVO DANIFICADO PELO USO DE LUBRIFICANTE DEGRADADO. FONTE: BORGES NETO (2005) .. 98

GRÁFICO 11 PERCENTUAIS MÍNIMOS DE COLETA DE ÓLEO LUBRIFICANTE USADO OU CONTAMINADO, POR REGIÃO DO PAÍS, PARA OS ANOS DE 2008 A 2019 FONTE: PORTELLA (2017) 105

TABELA 6 AGENTES DO MERCADO DE LUBRIFICANTES 107

FIGURA 11 SISTEMA NACIONAL DE ABASTECIMENTO E LOGÍSTICA REVERSA DE LUBRIFICANTES FONTE: Adaptado de DUQUE ET AL. (2017) P.59 . Dados de 2016 108

FIGURA 12 ESQUEMATIZAÇÃO DOS AGENTES DO MERCADO DE LUBRIFICANTE E SUAS OBRIGAÇÕES FONTE: PORTELLA (2017)..... 111

FIGURA 13 QUANTITATIVO DE AGENTES AUTORIZADOS PELA ANP E ACUMULAÇÃO DE ATIVIDADES FONTE: ELABORADO PELO AUTOR COM DADOS DE BRASIL (2017A) 112

GRÁFICO 12 VOLUME COMERCIALIZADO DE ÓLEO ACABADO E VOLUME COLETADO DE OLUC (2008 – 2017) FONTE: ELABORADO PELO AUTOR A PARTIR DE DADOS DE (ANP (2017A); BRASIL (2017A);2018A)) 114

GRÁFICO 13 PERCENTUAL DE ALCANCE DA META MÍNIMA NACIONAL DE COLETA DE OLUC FONTE: ELABORADO PELO AUTOR A PARTIR DE DADOS DE (ANP (2017A); BRASIL (2017A);2018A)) 115

GRÁFICO 14 PERCENTUAL DE ALCANCE DA META MÍNIMA DE COLETA DE OLUC POR REGIÃO GEOGRÁFICA BRASILEIRA FONTE: ELABORADO PELO AUTOR A PARTIR DE DADOS DE (ANP (2017A); BRASIL (2017A);2018A))..... 116

FIGURA 14 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DOS VOLUMES COLETADOS DE OLUC FONTE: ELABORADO PELO AUTOR A PARTIR DE DADOS DE BRASIL (2017A) 117

GRÁFICO 15 CORRELAÇÃO ENTRE VOLUME COLETADO DE OLUC EM 2017 E POPULAÇÃO, POR MUNICÍPIO (ESCALA LOGARÍTMICA). FONTE: ELABORADO PELO AUTOR A PARTIR DE DADOS DE IBGE (2017) E BRASIL (2017A) 119

FIGURA 15 MAPA DE CALOR DO VOLUME DE OLUC COLETADO PER CAPITA FONTE: ELABORADO PELO AUTOR A PARTIR DE DADOS DE IBGE (2017) E BRASIL (2017A)..... 121

FIGURA 16 BALANÇO VOLUMÉTRICO DOS RERREFINADORES DE LUBRIFICANTES EM 2016. FONTE: SIMP ANP (2016) APUD (DUQUE ET AL., 2017) 122

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

% a.a.	Pontos percentuais ao ano
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustiveis
API	*American Petroleum Institute*
ASTM	*American Society for Testing and Materials*
ATIEL	*Association Technique de L'industrie Europeanne des Lubrifiants*
BNDES	Banco Nacional de Desenvimento Econômico e Social
BPF	Baixo ponto de fluidez [óleo combustível]
CAGR	Taxa de crescimento anual composta (*compounded annual growth rate)*
CAP	Cimento asfáltico de petróleo
CCS	Simulador de partida a frio *(cold craking simulator)*
CNP	Conselho Nacional do Petróleo
Cnumad	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento
Comperj	Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro
Conama	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COP 21	21ª Conferência das Partes
DMSO	Dimetilsulfóxido
DNC	Departamento Nacional de Combustíveis
EPE	Empresa de Pesquisa Enérgética
FTC	*Federal Trade Commission*
FUP	Frete de Uniformização de Preços
HCC	Hidrocraqueamento catalítico
HDT	Hidrotratamento
HDW	Hidrodesparafinação (*hydrodewaxing*)

HIDW	Hidroisodesparafinação (*hydroisodewaxing*)
hp	Cavalos de potência (*horsepower)*
IAT	Índice de Acidez Total
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBT	Índice de Basicidade Total
IHH	Índice de Herfindahl–Hirschman
IQP	Índice de qualidade ponderado
ISO	*International Organization for Standardization*
IV	Índice de viscosidade
JASO	*Japanese Automotive Standards Organization*
MDIC	Ministério de Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MEC	Metiletilcetona
MGO	*Marine gasoil*
MIBC	Metilisobutilcetona
MIV	Melhorador de índice de viscosidade
MMA	Ministério de Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
NAS	*National Aerospace Standards*
NCM	Nomenclatura Comum do Mercosul
OLUC	Óleo lubrificante usado e/ou contaminado
PAO	Polialfaolefina
PCA	Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
PCB	Bifenilas policloradas (*polychlorinated biphenyl*)
PDE 2026	Plano Decenal de Expansão de Energia 2026
PIB	Poliisobutenos
Plural	Associação Nacional das Distribuidoras de Combustíveis, Lubrificantes, Logística e Conveniência

PML	Programa de Monitoramento dos Lubrificantes
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
r	Coeficiente de correlação
r^2	Coeficiente de variação
rpm	Rotações por minuto
SAE	*Society of Automotive Engineers*
SI	Sistema Internacional de Unidades
Simp	Sistema de Informações de Movimentação de Produtos
Sindicom	Associação Nacional das Distribuidoras de Combustíveis, Lubrificantes, Logística e Conveniência (atualmente chamada de Plural)
Sindirrefino	Sindicato Nacional da Indústria do Rerrefino de Óleos Minerais
TAN	*Total Acidity Number*
TBN	*Total Base Number*
UNFCCC	*United Nations Framework Convention on Climate Change*
USDJ	Departamento de Justiça dos Estados Unidos (*United States Department of Justice)*

RESUMO

DUQUE, JARDEL FARIAS. AVALIAÇÃO DO MERCADO BRASILEIRO DE ÓLEOS LUBRIFICANTES: PRODUÇÃO, CONSUMO, REAPROVEITAMENTO E PERSPECTIVAS. RIO DE JANEIRO, 2018. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO (MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS) - ESCOLA DE QUÍMICA, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, 2018, 146 P.

O Brasil é o maior consumidor de lubrificantes da América Latina, com mercado estimado em cerca de 37% do volume da região e 3,3% da demanda mundial. Em 2017, o mercado brasileiro de lubrificantes acabados chegou a cerca de 1,28 bilhões de litros, sendo o 6º maior mercado para uma demanda mundial estimada em 38,4 bilhões de litros. O objetivo dessa dissertação foi reunir e avaliar os aspectos técnicos e mercadológicos da produção, do consumo e do reaproveitamento dos lubrificantes no mercado brasileiro e suas perspectivas, principalmente através da análise e validação dos dados de mercado recentemente obtidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) através do sistema Simp. Em 2017, a demanda aparente nacional foi apurada em cerca de 6,1 litros/habitante, 1 litro a mais que a média mundial. O mercado brasileiro se mostrou competitivo, apesar do crescimento de 1,69% ao ano nos últimos 14 anos, abaixo do crescimento do PIB no período, fato que foi atribuído à crescente exigência de lubrificantes que suportam maior carga com maior intervalo entre as trocas. Foram identificadas as fontes de óleo básico do mercado brasileiro, o percentual médio de aditivação e a localização da infraestrutura produtiva. Foi caracterizado o programa brasileiro de logística reversa do óleo lubrificante usado e/ou contaminado que devolve ao sistema, pelo rerrefino, cerca de um quinto de todo o volume de óleo básico utilizado. Apesar das disparidades regionais, estas vêm sendo minimizadas com o avanço de metas progressivas determinadas pelo governo. Para os próximos anos, espera-se a continuidade da migração da demanda de óleos básicos do grupo I para aqueles dos grupos II e III; o desenvolvimento de produtos adaptados à maior presença de biodiesel no diesel brasileiro; a diminuição da participação do óleo de primeiro refino nacional, tanto para o produto importado quanto para o rerrefino; a revisão das metas anuais de coleta a partir de 2020; e a proposta de acordo setorial com gestor integrado para substituir a atual sistemática de contratação direta na logística reversa.

Palavras-chave: óleo lubrificante, logística reversa, avaliação de mercado, rerrefino

ABSTRACT

DUQUE, JARDEL FARIAS. AVALIAÇÃO DO MERCADO BRASILEIRO DE ÓLEOS LUBRIFICANTES: PRODUÇÃO, CONSUMO, REAPROVEITAMENTO E PERSPECTIVAS. RIO DE JANEIRO, 2018. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO (MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS) - ESCOLA DE QUÍMICA, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, 2018, 146 P.

Brazil is the largest consumer of lubricants in Latin America, with an estimated market of around 37% of the region's volume and 3.3% of world demand. In 2017, the Brazilian market for finished lubricants reached 1.28 billion liters, being the 6th largest market for an estimated global demand of 38.4 billion liters. The objective of this dissertation was to gather and evaluate the technical and marketing aspects of the production, consumption and reuse of lubricants in the Brazilian market and its prospects, mainly through the analysis and validation of market data recently obtained by the National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels (ANP) through the Simp system. In 2017, apparent domestic demand was estimated at about 6.1 liters / inhabitant, 1 liter more than the world average. The Brazilian market has shown to be competitive, despite a 1.69% annual growth in the last 14 years, below GDP growth in the period, a fact that was attributed to the increasing demand for lubricants that bear higher load with longer intervals between exchanges. The sources of basic oil in the Brazilian market, the average percentage of additives and the location of the productive infrastructure were identified. The Brazilian program of reverse logistics of used and / or contaminated lubricating oil, which returns to the system about one-fifth of the total volume of basic oil consumed, has been characterized. Despite regional disparities, these have been minimized as progressive government targets are advanced. For the next few years the following are expected: the continuity of demand transition from group I base oils to those of groups II and III; the development of products adapted to the greater presence of biodiesel in Brazilian diesel the reduction of the share of the national first refining oil in favor of both for the imported and re-refined product; review of annual collection targets from 2020; and the proposal of a sectoral agreement with an integrated manager to replace the current system of direct contracting in reverse logistics.

Key words: lubricant oil, reverse logistics, market analysis, re-refining

1. INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO E MOTIVAÇÃO

O mercado de formulação de lubrificantes, reconhecido pelo alto nível de especificidade, é talvez um dos mais diversificados dentre os mercados brasileiros de derivados de petróleo. Além das aplicações em motores de combustão interna, redutores automotivos e industriais, compressores, turbinas ou sistemas hidráulicos, onde o lubrificante deve acompanhar o aperfeiçoamento desses equipamentos, há um grande número de outras aplicações que exigem principalmente lubrificantes especificamente adaptados. Isto é ilustrado pelos numerosos tipos de graxas ou pelos diferentes lubrificantes para as diversas operações de usinagem que estão disponíveis. Cerca de 5.000 a 10.000 diferentes formulações de lubrificantes são necessárias para satisfazer mais de 90% de todas as aplicações de lubrificantes (MANG; GOSALIA, 2017).

A atividade de formulação/fornecimento de óleos lubrificantes acabados no Brasil tem atuação tanto de empresas de capital nacional como de capital estrangeiro e, diferente da exploração, produção e refino do petróleo, é caracterizada pela baixa concentração advinda da abertura do mercado na década de 1990. No ano de 2017, o mercado brasileiro de lubrificantes acabados chegou a cerca de 1,28 bilhões de litros, dos quais mais de ¾ pode ser classificado como de uso automotivo (BRASIL, 2018a). A demanda mundial de lubrificantes é estimada em 36,1 milhões de toneladas (cerca de 38,4 bilhões de litros) e o Brasil se posicionou como o 6º maior mercado nacional, no ano de 2017 (GOSALIA, 2018). O país é o maior consumidor de lubrificantes da América Latina, com mercado estimado em cerca de 37% do volume da região e 3,3% da demanda mundial (GOSALIA, 2018). Pouco mais da metade do volume consumido internamente de óleo lubrificante básico, matéria prima principal para formulação de óleo lubrificante acabado e graxas, tem sua origem principal nas refinarias nacionais. O restante da demanda é complementada por importações e pelo produto reaproveitado vindo do rerrefino, cujas participações relativas tendem a aumentar nos próximos anos.

Nesse contexto, o Brasil implementou com relativo sucesso uma política de reaproveitamento do óleo lubrificante usado e/ou contaminado (OLUC) por meio do

rerrefino, que retroalimenta o sistema com óleo lubrificante básico, a principal matéria-prima que compõe os óleos lubrificantes acabados e graxas minerais. Conforme o presente trabalho demonstrará, no ano de 2017, cerca de 41% do óleo lubrificante acabado comercializado foi coletado (exceto óleos dispensados de coleta), o que retornou óleo básico rerrefinado ao sistema em volume equivalente a quase um quinto da demanda para formulação de óleos acabados e graxas.

Assim como outros mercados de produtos derivados de petróleo, o segmento de lubrificantes é regulado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustiveis (ANP), por meio de de suas portarias e resoluções, que regulamentam as leis federais que regem o setor. Recentemente a Agência obteve importante avanço na obtenção de informações mais detalhadas e confiáveis sobre o setor de lubrificantes com a inclusão do setor de lubrificantes no Sistema de Informações de Movimentação de Produtos (Simp). O Simp, que já era amplamente utilizado nos demais mercados regulados pela ANP, desde 2015 substitui o obsoleto Sistema Interativo Coleta na transmissão e gestão de informações de produção e comercialização de lubrificantes, aditivos e graxas. A partir de 2017, a ANP começou então a divulgar as informações compiladas por esse sistema no formato de boletins mensais, com algum nível de detalhamento. Essa estratégia de divulgação permite que a sociedade civil realize, por exemplo, o controle social da eficácia do sistema de gestão de óleos lubrificantes usados ou contaminados em aspectos e dimensões que não são necessariamente analisados pelo órgão regulador da indústria do petróleo.

O presente estudo, suportado por uma revisão da literatura técnica, científica e regulatória sobre o tema, pretende (i) validar as recentes informações declaratórias transmitidas e compiladas por intermédio do Simp, por meio de comparação de alguns resultados globais com a literatura, (ii) utilizar esses dados para fazer uma análise abrangente da estrutura atual do mercado de lubrificantes brasileiro de óleos lubrificantes acabados, (iii) mapear a rede nacional de logística reversa de lubrificantes usados/contaminados; e (iv) identificar e propor temas que serão pauta de discussão do mercado brasileiro nos próximos anos.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo dessa dissertação é avaliar os aspectos técnicos e mercadológicos da produção, do consumo e do reaproveitamento dos óleos lubrificantes no mercado brasileiro.

1.2.2 Objetivos Específicos

a. Relacionar os principais parâmetros avaliados pela indústria para caracterização da adequação ao uso e da qualidade de um óleo lubrificante.
b. Avaliar o panorama da qualidade dos óleos lubrificantes no mercado nacional.
c. Comparar e eventualmente correlacionar as informações declaratórias transmitidas e compiladas por intermédio do Simp da ANP com resultados globais com a literatura, a fim de validar essas informações;
d. Caracterizar a cadeia de suprimentos de lubrificantes nacional, localização de sua infraestrutura e volumes movimentados ao longo da cadeia, caracterizando sua origem e destinos.
e. Analisar o programa de logística reversa de óleo lubrificante, a partir de suas bases históricas e mapeamento atual da rede de coleta, buscando evidenciar disparidades regionais.
f. Destacar as perspectivas de temas que serão agenda do setor produtivo nos próximos anos, com base nas informações coletadas e nas lacunas identificadas na estrutura do mercado e da legislação.

1.3 METODOLOGIA

O levantamento bibliográfico foi realizado no período de outubro de 2016 a agosto de 2018. As bases de dados de trabalhos científicos consultadas foram Periódicos CAPES, Google Acadêmico e *Web of Science*. Num estudo preliminar, as palavras-chave utilizadas foram “Lubrificantes”, “Logística Reversa” e “Rerrefino”, tanto em português quanto em inglês. Para que as referências fossem consideradas relevantes, os critérios adotados foram referentes ao formato (artigos em revistas

científicas, teses, dissertações e, em menor grau, trabalhos de conclusão de curso). No levantamento inicial, não foram definidos critérios em relação ao período de publicação, à quantidade de citações do artigo, ou ao fator de impacto da revista que o artigo foi publicado. Posteriormente, foram utilizadas palavras-chave secundárias como “Lubrificantes básicos”, “Óleo Lubrificante Usado ou Contaminado”, e como critério a data de publicação, sendo consideradas as publicações mais recentes.

Foram realizadas também buscas em sites de entidades governamentais como a Agência Nacional de Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e Ministério do Meio Ambiente (MMA). Nessas fontes foram consultados dados que não são remetidos pelas bases anteriormente citadas, disponíveis seja em relatórios e boletins, como o Relatório para o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e o Boletim de Lubrificantes (ANP). Também foram consultadas bases de dados demográficos do IBGE; sites de associações de classe, como Plural e Sindirrefino; normas técnicas nacionais e internacionais, como ABNT e API; livros texto especializados em português e inglês; e a imprensa brasileira especializada, como a revista LUBES EM FOCO.

Através destes resultados preliminares, foram identificados os autores principais e artigos relevantes. Finalmente, o método de busca foi iterativo, ou seja, contemplou ciclos nos quais houve o refinamento da busca, além de buscas cruzadas a partir de referências citadas nos artigos encontrados anteriormente.

As bases de dados eletrônicos disponíveis, principalmente dados de natureza volumétrica e demográfica, foram tratadas nos softwares Microsoft Excel e Microsoft Access. Os resultados desses tratamentos foram expressos em gráficos que são apresentados ao longo do trabalho.

Por último, também foram empregues fontes documentais tais como normas, relatórios gerenciais, programas, planos, apresentações e projetos organizacionais, bem como fontes humanas representadas por servidores públicos e integrantes da iniciativa privada que detém conhecimentos tácitos sobre o mercado estudado e sobre as expectativas para os próximos anos.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO

O presente capítulo 1 serve de introdução ao tema e estabelecimento dos objetivos do estudo.

O capítulo 2 estabelece as bases da discussão ao conceituar e classificar os diversos produtos chamados conjuntamente de óleos lubrificantes acabados. São apresentados os principais aspectos acerca das matérias primas desses produtos – notadamente óleos básicos e aditivos – e discutidos aspectos de qualidade e rotas de produção.

O capítulo 3 se propõe a fazer exame macroscópico do setor, passando pela infraestrutura produtiva, fluxos de suprimento e volumes envolvidos, contextualizando com o mercado mundial, até chegar às perspectivas para os próximos anos.

O capítulo 4 é um exame minucioso do programa nacional de logística reversa de lubrificantes, que retira do meio ambiente o resíduo de óleo pós-consumo e o devolve ao início da cadeia como matéria prima para a produção de novos lubrificantes. O histórico desse setor é remontado até os dias atuais, em que os dados detalhados do Simp juntamente com dados demográficos permitiram um mapeamento nacional da rede de coleta e tratamento do óleo usado. Também aqui são apresentadas as perspectivas de discussões nos próximos anos.

Finalmente, o capítulo 5 é reservado para as conclusões do estudo.

2. ÓLEOS LUBRIFICANTES

2 ÓLEOS LUBRIFICANTES

Nesse capítulo serão discutidos os principais conceitos relacionados ao mercado de óleos lubrificantes e lubrificação, as matérias primas envolvidas em sua produção, as características físicas e químicas mais marcantes dos produtos e suas principas aplicações. Ao final, são apresentadas informações sobre a evolução da qualidade dos lubrificantes no mercado brasileiro.

2.1 CONCEITO E CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS.

Lubrificante é todo material utilizado para reduzir o desgaste (atrito) entre diferentes superfícies em movimento. Além dessa função, os lubrificantes podem servir à troca de calor, proteção contra corrosão, à transmissão de forças e mesmo o isolamento dielétrico, dentre outras funções.

BELMIRO, P. e CARRETEIRO (2006) definem lubrificação como “o fenômeno da redução de atrito entre duas superfícies em movimento relativo, por meio da introdução de uma substância entre as mesmas”. BANNISTER (1996) , em sua definição de lubrificante, amplia a gama de benefícios esperados com seu uso. Conceitua Bannister (1996, p.121):

> **Lubrificante**: Uma substância (por exemplo, graxa, óleo, etc.) que, quando introduzida entre superfícies sólidas que se movem uma sobre a outra, reduzem a resistência ao movimento, produção de calor e desgaste ao formar um filme fluido entre as duas superfícies.

Destaca-se que não há limitação quanto ao estado físico do lubrificante, que pode ser líquido, sólido ou gasoso. Todavia, os mais comuns são os lubrificantes líquidos, à base de substâncias oleosas, especialmente os derivados do processamento do petróleo.

Em se tratando de óleos lubrificantes, o principal constituinte do **óleo lubrificante acabado** é denominado **óleo básico**, que pode ser um derivado de petróleo obtido pelo processo de refino ou substâncias sintéticas geradas por reações químicas ou, até mesmo, óleos de origem vegetal. Na maioria das aplicações, o óleo básico sozinho não consegue atender a todos os requisitos de desempenho. Para essas aplicações, o óleo básico recebe **aditivos** que têm a função de melhorar suas qualidades, imprimir novas características ou mesmo suprimir algumas de suas

características indesejáveis. Assim, pode-se afirmar que a grande maioria dos óleos lubrificantes acabados é formulada a partir de uma mistura entre óleos básicos, representando em geral mais de 90% do seu volume (DO BRASIL; ARAÚJO; DE SOUZA, 2012), e aditivos.

Nesse sentido, a ANP utiliza uma definição bastante ampla para “óleo lubrificante acabado” em seus regulamentos (ANP, 2016) : “*óleo lubrificante acabado*: produto formulado a partir de óleo lubrificante básico ou de mistura de óleos lubrificantes básicos, podendo ou não conter aditivos”. Dada a grande variedade de óleos lubrificantes acabados disponíveis, não há algum tipo de especificação regulatória fechada para esses produtos, diferente do que acontece com os óleos lubrificantes básicos ou os combustíveis. Cada produtor estabele os parâmetros mínimos de qualidade que pretende atender com cada produto e, no Brasil, registra essa formulação junto ao órgão regulador.

As aplicações dos lubrificantes acabados são tão diversas quanto os tipos de equipamentos e suas partes móveis. Podemos citar, sem exaurir essas aplicações: lubrificação de componentes como mancais, pistões, engrenagens, rolamentos, correntes e cabos de aço, que compõem equipamentos como motores elétricos e de combustão interna, compressores, moto-redutores, bombas, turbinas, etc.; sistemas de transmissão de força e de calor; isolamento dielétrico em transformadores; proteção contra ferrugem; auxílio no trabalho com metais – usinagem, corte, têmpera, revenimento, etc.

Algumas das características de maior importância nos óleos lubrificantes são a viscosidade; o comportamento da viscosidade frente a variações de temperatura (índice de viscosidade – IV); a volatilidade e o ponto de fulgor; a sua aparência e cor; o teor de hidrocarbonetos saturados; seu ponto de fluidez; sua corrosividade e seu teor de enxofre. Essas propriedades podem ser mensuradas em laboratório e o seu valor é um indicativo do comportamento do lubrificante na aplicação final, bem como nas condições de transporte e armazenagem.

Nos próximos tópicos são elencadas e discutidas várias das propridedades de óleos lubrificantes básicos e acabados que são verificadas diariamente por profissionais do setor para garantir a qualidade de seus produtos, o atendimento à legislação e a adequação ao uso a que se propõem.

2.1.1 Propriedades Físicas

2.1.1.1 Viscosidade

Na maioria das aplicações, espera-se que seja formado um filme do fluido lubrificante entre duas superfícies que estão em movimento relativo. Chamamos a esse fenômeno de **lubrificação hidrodinâmica**. Nesse regime teoricamente não há desgaste, uma vez que as duas superfícies nunca entrariam em contato. Na prática, todavia, nunca temos lubrificação totalmente hidrodinâmica. Fato é que, nesse regime, a **viscosidade** do fluido se torna a fonte mais importante de resistência ao movimento (BELMIRO, P.; CARRETEIRO, 2006).

Um fluido é, por definição, uma substância "que se deforma continuamente sob a aplicação de uma tensão de cisalhamento (tangencial), não importando o quão pequeno seja o seu valor" (FOX; PRITCHARD; MCDONALD, 2010). A viscosidade de um fluido é a propriedade que determina o valor de sua resistência ao cisalhamento e é, devida, primariamente, à interação entre as moléculas do fluido (BELMIRO, P.; CARRETEIRO, 2006).

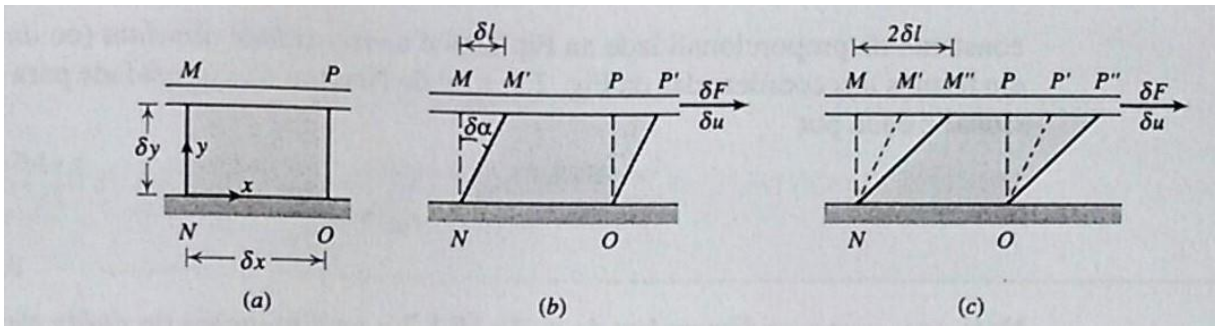
Considere o comportamento de um elemento fluido preso entre duas placas infinitas, conforme a figura 1(a). O elemento está em repouso no tempo t. Consideramos agora que uma força constante para a direita δF_x é aplicada à área δA_y da placa de forma que ela é arrastada através do fluido com velocidade constante δu. Essa força causa uma tensão de cisalhamento sobre o elemento fluido que é dada por:

$$\tau_{yx} = \lim_{\delta A_y \to 0} \frac{\delta F_x}{\delta A_y} = \frac{dF_x}{dA_y}$$

Como o fluido se deforma continuamente sob a aplicação de uma tensão cisalhante, a sequência de instantâneos da figura 1a-c ilustra a deformação do elemento fluido, da posição MNOP no tempo t, para a posição M'NOP' no tempo t+δt, e para a posição M''NOP'' no tempo t+2δt.

FIGURA 1 DEFORMAÇÃO DE UM FLUIDO SOB APLICAÇÃO DE TENSÃO DE CISALHAMENTO FONTE: FOX ET AL. (2010) p.29

(a) Elemento fluido no tempo t, (b) deformação do elemento fluido no tempo t+δt e (c) deformação do elemento fluido no tempo t+2δt.



Durante o intervalo de tempo δt, a deformação do fluido é dada por

$$taxa\ de\ deformação = \lim_{\delta t \to 0} \frac{\delta\alpha}{\delta t} = \frac{d\alpha}{dt}$$

Para um ângulo δα pequeno demonstra-se que:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{du}{dy}$$

ou seja, a taxa de deformação (taxa de cisalhamento) é igual ao gradiente de velocidade nesse caso. Assim, um fluido submetido a uma tensão de cisalhamento τ_{yx} irá se deformar com uma taxa de cisalhamento igual a *d*u/*d*y. Aqueles fluidos para os quais a tensão de cisalhamento é diretamente proporcional à taxa de deformação são chamados *fluidos newtonianos*.

É percebido, na prática, que certo fluidos apresentam maior taxa de deformação ("se deformam mais facilmente") que outros sob a aplicação de uma mesma força, ou uma mesma tensão de cisalhamento. Essa propriedade dos fluidos é representada pela constante de proporcionalidade entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, e é denominada **viscosidade absoluta (ou dinâmica),** μ. Assim, a lei de Newton da viscosidade para escoamento unidimensional é dada por

$$(1) \qquad \tau_{yx} = \mu \frac{du}{dy}$$

A viscosidade absoluta ou dinâmica é reportada comumente em poise (P) ou centipoise (cP). No sistema Métrico Absoluto o poise é definido como [1 poise ≡ 1 g/(cm·s)]. No Sistema Internacional de Unidades (SI), as unidades de viscosidade são

kg/(m·s) ou Pa·s. A equivalência, nesse caso, é 10 poise = 1 Pa·s ; ou, de modo equivalente, 1 cP = 10^{-3} Pa·s.

É bastante comum também a utilização da grandeza **viscosidade cinemática**, ν, que é somente a razão entre a viscosidade absoluta μ e a massa específica, ρ, de um fluido, ambas à mesma temperatura. No sistema Métrico Absoluto, sua unidade é o stoke (St) onde [1 stoke ≡ 1 cm²/s]. Um múltiplo comum é o centistoke (cSt), 1 cSt = 1 mm²/s.

A viscosidade é uma propriedade que depende não somente da natureza do fluido, mas também é bastante influenciada pela temperatura. Em geral a viscosidade de gases aumenta com um aumento na temperatura, enquanto a viscosidade dos líquidos diminui com a temperatura. Dessa forma, ao registrar valores de viscosidade, é importante registrar também a temperatura em que as medidas foram realizadas.

2.1.1.2 Índice de Viscosidade

Em várias aplicações, o lubrificante se submete a alterações significativas de temperatura, seja devido à liberação de calor por atrito ou por atuar próximo a fontes de calor. Nos motores automotivos, máquinas em regime transiente, é uma característica desejável do lubrificante que sua viscosidade varie pouco com a temperatura.

O método mais usual para expressar o relacionamento da viscosidade com a temperatura é o índice de viscosidade (IV), definido por DEAN e DAVIS (1929). Trata-se de um número adimensional, baseado em uma escala empírica na qual foram atribuídos a padrões de óleos obtidos nos Estados Unidos os valores arbitrários de IV iguais a 100 e zero. O IV de um dado óleo é calculado a partir das suas viscosidades a 40 e 100 ºC e da viscosidade, a 40 ºC, de um padrão que possua viscosidade a 100 ºC igual à da amostra.

Esse procedimento é amplamente aplicado no mercado nacional e internacional de lubrificantes, e está normatizado pela ASTM D2270-10(2016a) e, no Brasil, pela ABNT NBR 14358:(2012). Assim o IV de um óleo pode ser calculado pela equação a seguir:

$$IV = \frac{L-U}{L-H} \times 100 \qquad (2)$$

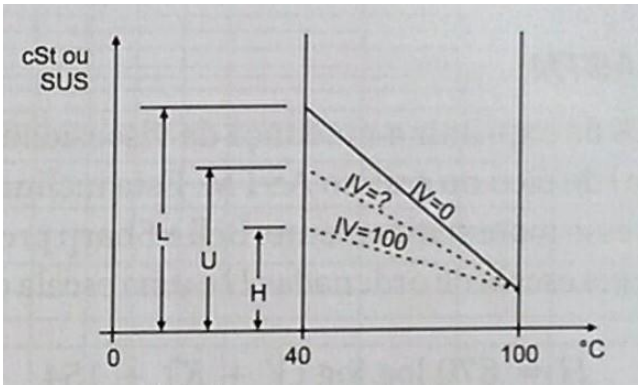
Onde (ver também figura 2):

L = viscosidade cinemática a 40 ºC de um óleo de índice de viscosidade 0, tendo a mesma viscosidade a 100 ºC do óleo em estudo.

H = viscosidade cinemática a 40 ºC de um óleo de índice de viscosidade 100, tendo a mesma viscosidade a 100 ºC do óleo em estudo.

U = viscosidade cinemática a 40 ºC do óleo em estudo.

FIGURA 2 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO CÁLCULO DO ÍNDICE DE VISCOSIDADE
FONTE: BELMIRO, P. E CARRETEIRO (2006) p 50



Os valores de L e H são tabelados em função da viscosidade cinemática a 100ºC da amostra, até 70 cSt. Caso a viscosidade cinemática a 40 ºC (ou seja, U) da amostra seja menor que H, caso em que o IV será maior que 100, o procedimento padrão esbalece que devem ser utilizadas as seguintes fórmulas (ABNT, 2012; ASTM, 2016a):

$$IV = \frac{(antlog\ N) - 1}{0{,}00715} \times 100 \qquad (3)$$

Onde:

N = número obtido a partir da fórmula: N = (log H – log U) / log Y

Y = viscosidade cinemática do óleo em estudo em cSt a 100 ºC.

H = viscosidade cinemática em cSt a 40 ºC de um óleo de índice de viscosidade 100, tendo a mesma viscosidade a 100 ºC do óleo em estudo.

U = viscosidade cinemática em cSt a 40 ºC do óleo em estudo.

Finalmente, para valores da viscosidade de da amostra a 100 ºC maiores que 70 cSt, devem ser utilizadas as seguintes fórmulas para calcular os valores de L e H, em cSt (ABNT, 2012; ASTM, 2016a):

(4) $$L = 0{,}8353\,Y^2 + 14{,}67\,Y - 216$$

(5) $$H = 0{,}164\,Y^2 + 11{,}85\,Y - 97$$

Onde, mais uma vez:

Y = viscosidade cinemática do óleo em estudo em cSt a 100 ºC

Em todos os casos, a norma ABNT NBR 14358:2012 estabelece que o IV calculado deve ser arredondado para o número inteiro mais próximo.

2.1.1.3 Ponto de Fluidez

Abaixo de certas temperaturas, o óleo lubrificante pode deixar de apresentar o comportamento de um fluido, o que certamente prejudicará a lubrificação. O ponto de fluidez de um óleo, medido em unidades de temperatura como ºC ou ºF, é a menor temperatura em que a amostra ainda flui. Trata-se de um indicador de sua menor temperatura de utilização para uma determinada aplicação. É uma função da composição química (teor de parafinas e distribuição de carbonos) e do rigor empregado na operação de desparafinação do óleo básico (ASTM, 2015).

2.1.1.4 Perda por evaporação

Apesar de serem oriundos das frações mais pesadas do petróleo cru, os óleos básicos possuem substâncias voláteis em sua composição. A volatilidade do óleo acabado é uma função da volatilidade do óleo básico, mas pode ser influenciada pelos aditivos lubrificantes.

Quando utilizados em temperaturas elevadas, pode ocorrer a evaporação dessas frações leves dos lubrificantes. Em óleos de motores isso é grave, pois pode contribuir para maior consumo de óleo, acarretando aumento de emissões veiculares, além de causar mudanças nas propriedades do óleo, podendo gerar deficiência na

lubrificação que, por sua vez, pode acarretar maior desgaste das peças e menor vida útil do motor.

O teste mais utilizado para determinação da perda por evaporação de lubrificantes é o método Noack, onde uma amostra é inserida em uma cuba, pesada, e então colocada em uma câmara de evaporação a 250ºC por 60 min. Mede-se a massa final e calcula-se a perda por diferença (ABNT, 2007/2013).

2.1.1.5 Ponto de fulgor

O ponto de fulgor de um óleo é a menor temperatura na qual o vapor desprendido deste, em presença do ar, inflama-se momentaneamente ao se lhe aplicar uma chama, formando um lampejo (flash) (BELMIRO, P.; CARRETEIRO, 2006).

Valores pequenos desta característica permitem indicar, por exemplo, a possível presença de produtos altamente inflamáveis e voláteis em um material pouco volátil como o óleo básico.

Apesar de o ponto de fulgor, mensurado em condições controladas, não ser a temperatura exata em que uma carga comercial de derivado de petróleo passa a apresentar risco de explosão, o conhecimento desse parâmetro pode e deve ser utilizado para minizar riscos, tanto no projeto de equipamentos e instalações quanto no manuseio e aquisição desses produtos.

2.1.1.6 Aparência e Cor

A aparência de óleos lubrificantes deve ser, tipicamente, clara e brilhante, apesar de haver no mercado produtos de aspecto opaco. A inspeção visual simples do material pode indicar a ausência ou a presença de contaminantes indesejáveis (por exemplo, água, materiais suspensos, etc.). A constatação da presença desses contaminantes requer a determinação de outros parâmetros para avaliar o efeito deles sobre as propriedades funcionais do óleo básico ou lubrificante acabado (ASTM, 2015).

A determinação da cor é usada, principalmente, como uma proposta para controle de fabricação, além de ser uma característica sensorial prontamente

observada pelo usuário do produto. Em certas aplicações, como produtos farmacêuticos, ou de grau alimentício, ou produtos para lubrificação de fibras têxteis, é desejável que o produto seja incolor – esses produtos recebem o nome comum de óleo branco. No entanto, a cor isoladamente não é sempre um guia confiável para a qualidade dos produtos e não deve ser usada indiscriminadamente nas especificações de produtos (ASTM, 2015; BELMIRO, P.; CARRETEIRO, 2006).

2.1.1.7 Demulsibilidade

Essa propriedade é requerida em sistemas nos quais o óleo entra em contato com a água e é requerida uma rápida separação água-óleo para que a lubrificação ocorra, como é o caso em turbinas e sistemas hidráulicos (FARAH, 2012). É um parâmetro usado não só para especificação de óleos novos como também no monitoramento de óleos em serviço (ASTM, 2015).

O teste de demulsibilidade proposto pela NBR14172:2009 (ABNT, 2009a), formulada a partir da norma ASTM D1401 (ASTM, 2012), consiste em misturar, em uma proveta graduada, iguais volumes (40 mL + 40 mL) do óleo a ser testado e de água destilada (ou uma solução de 1% NaCl ou água do mar sintética quando tratar-se de produtos para uso marítimo) a uma dada temperatura (a norma brasileira propõe 54ºC, ou 82ºC para óleos mais viscosos). A cada 5 min é verificado se a emulsão foi desfeita, até o limite de 30 min. Nesse último caso, são auferidos os volumes de óleo, água e emulsão remanescentes.

Em outros casos, é esperado que o óleo forme emulsões estáveis com água, como é o caso de óleos emulsionáveis para emprego em usinagem de metais, os chamados óleos de corte solúveis. Nesse caso, ensaia-se uma amostra de óleo e água, em proporções de 0,1% a 25% de óleo à temperatura ambiente. A emulsão formada deve estar isenta de espuma em 15 min e deve permanecer estável durante, pelo menos, 24 h (BELMIRO, P.; CARRETEIRO, 2006).

2.1.2 Propriedades Químicas

2.1.2.1 Índice de Acidez Total e Índice de Basicidade Total

Produtos de petróleo, novos e usados, podem conter componentes básicos ou ácidos, presentes como aditivos ou como produtos de degradação formados durante o serviço (por exemplo, produtos de oxidação). A quantidade relativa desses materiais pode ser determinada por titulação com ácidos ou bases. Essa quantidade, expressa como “número de acidez” ou “número de basicidade”, é uma medida da concentração de substâncias ácidas ou básicas respectivamente existentes no óleo, sempre sob as condições de ensaio. Estes números são usados como um guia no controle da qualidade nas formulações de óleos lubrificantes. São também usados para medir a degradação do lubrificante durante o uso, porém qualquer limite de rejeição deve ser estabelecido empiricamente (ASTM, 2014).

Como vários produtos de oxidação contribuem para o número de acidez, e os ácidos orgânicos variam muito em propriedades corrosivas, não se pode usar o ensaio para prever a corrosividade de um óleo em condições de serviço. Não é conhecida qualquer correlação geral entre o número de acidez e a tendência corrosiva dos óleos sobre os metais (ASTM, 2014). Todavia, esse número serve bem como controle de fabricação, já que valores altos do índice de acidez de óleos básicos indicam que produtos de oxidação ou contaminantes podem estar presentes. O ajuste do produto final se daria, então, por neutralização ou remoção no processo de rerrefino (ASTM, 2015).

O **Índice de Acidez Total** (IAT – do inglês *Total Acidity Number*, TAN) é a medida da quantidade de ácido em termos da quantidade de miligramas de KOH por grama de amostra necessárias para neutralizar todos os componentes ácidos (até pH =11,0 pela norma ASTM D-664) (ASTM, 2017).

Durante a queima de combustíveis em motores são formados ácidos orgânicos que se acumulam e degradam o óleo lubrificante. Assim, é desejável que esses lubrificantes tenham a capacidade de neutralizar esses ácidos. O parâmetro que indica essa capacidade é o **Índice de Basicidade Total** (IBT – do inglês *Total Base Number*, TBN). O IBT é a medida da alcalinidade em termos de miligramas de

KOH por grama de amostra equivalente ao ácido clorídrico gasto para titular até pH = 4,0 (BELMIRO, P.; CARRETEIRO, 2006).

2.1.2.2 Corrosividade

Alguns compostos de enxofre presentes em óleos básicos podem apresentar uma ação corrosiva sobre metais, especialmente ligas contendo cobre. Essa corrosividade não está, necessariamente, diretamente relacionada ao teor de enxofre total (ASTM, 2015). O efeito pode variar de acordo com as diferentes formas químicas dos compostos de enxofre presentes, sendo H_2S e S^0 especialmente corrosivos (FARAH, 2012).

O ensaio de corrosão mais comum é o efetuado em uma lâmina de cobre, posta sob a ação do óleo durante período determinado de tempo (geralmente 3h) sob uma determinada temperatura elevada (geralmente 100ºC). Ao final remove-se a lâmina, que sofre variações na sua coloração, e compara-se com lâminas padrão. O óleo mineral puro, por exemplo, deve situar-se no início da escala, com pouca ou quase nenhuma variação da cor da lâmina (BELMIRO, P.; CARRETEIRO, 2006).

2.1.2.3 Presença de contaminantes externos

O transporte, o manuseio e o uso do lubrificante podem colocá-lo em contato com produtos diversos, que podem lhe conferir características indesejáveis ou mesmo risco à saúde. O rerrefino do óleo lubrificante, como será tratado mais adiante, se propõe a remover contaminantes do óleo lubrificante usado para dar origem a óleo básico que poderá ser novamente utilizado na formulação de produtos acabados.

Há ensaios diversos para verificação dos níveis de contaminantes, seja no óleo básico rerrefinado, seja para controle de qualidade de óleos básicos de primeiro refino ou óleos lubrificantes acabados. Por exemplo:

- **Glicol**: Os óleos de motor podem se tornar contaminados por etilenoglicol proveniente do sistema de arrefecimento e sua permanência após o rerrefino indica deficiência nesse processo (ASTM, 2015). O teste mais comum consiste na extração com água e análise do extrato aquoso por cromatografia a gás;

- **PCB**: Os compostos orgânicos da família das bifenilas policloradas, ou PCB (sigla em inglês para *polychlorinated biphenyl*) apresentam elevada toxicidade. O uso e descarte dos produtos que as contêm, como certos fluidos isolantes para transformadores e equipamentos elétricos, é severamente regulado (ABNT, 2005). Todavia, fluidos usados contendo PCB podem ser misturados inadvertidamente com óleos lubrificantes destinados ao rerrefino. Os óleos básicos adequados para uso no comércio não devem conter compostos PCB (ASTM, 2015). A identificação se faz por cromatografia a gás.
- **Haletos Orgânicos Voláteis**: Os óleos básicos não contêm haletos orgânicos voláteis, uma vez que se considera que os processos de refino e de rerrefino são capazes de remover, efetivamente, todos os traços desses materiais. A presença de haletos orgânicos voláteis em óleos básicos indica a contaminação por solventes clorados encontrados, normalmente, em fluidos de serralheria e em resíduos de lavagem de peças automotivas ou, ainda, devido ao transporte inadequado de óleos básicos (ASTM, 2015). A identificação se faz por cromatografia a gás.
- **Água**: A presença de água pode afetar a corrosividade dos lubrificantes, a estabilidade hidrolítica de aditivos e a condutividade dielétrica. A umidade se encontra dissolvida, em baixas concentrações, em todos os óleos básicos quando armazenados na presença de ar atmosférico. No entanto, água pode estar presente em concentrações mais altas pela contaminação de fontes externas (ASTM, 2015). Um ensaio simples, chamado de teste de crepitação, consiste em colocar gotas do lubrificante em uma chapa quente (>100ºC) e verificar a formação de bolhas de vapor, que irão estourar fazendo ruído característico (ABNT, 2015). Outros testes possíveis são a separação por centrigugação ou por destilação. Em aplicações mais específicas, como óleos para isolamento dielétrico, quantidades muito pequenas de água já afetam suas propriedades. Nesses casos, é recomendado a aplicação de ensaios mais sensíveis, como a titulação Karl Fischer (ASTM, 2016b).
- **Metais**: Alguns óleos são formulados com aditivos que contêm metais e que atuam como detergentes, antioxidantes, agentes antidesgaste, etc. Esse método fornece um meio de determinação da concentração desses metais, dando um indicativo do teor de aditivos nesses óleos. Os óleos básicos devem

ser essencialmente isentos de elementos metálicos. Fontes de elementos metálicos potencialmente presentes em óleos básicos incluem óleo bruto, resíduos de aditivos de lubrificantes, resíduos de corrosão ou metais provenientes de desgaste e que não foram removidos no processo de rerrefino (ASTM, 2015). As técnicas analíticas podem ser diversas e geralmente envolvem espectrometria de absorção ou de emissão atômica.

2.1.3 Propriedades Composicionais

2.1.3.1 Teor de Saturados

A composição química pode ter efeito sobre as características e o desempenho dos óleos básicos. O teor de saturados é uma função da origem do petróleo, da sequência e do rigor das etapas no processo de refino (ASTM, 2015).

O método padrão de determinação de saturados e aromáticos é por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) com detector de índice de refração, de acordo com o método ASTM D7419 (ASTM, 2013).

2.1.3.2 Enxofre

O teor de enxofre é uma função da origem do petróleo e do processo de refino. Através da evolução das tecnologias de refino e processamento de óleo básico, o enxofre tem sido empregado como um indicador da qualidade do produto e um prognóstico da qualidade do lubrificante (TOTTEN; WESTBROOK; SHAH, 2003).

O enxofre, que está presente naturalmente em petróleo bruto, pode atuar como antioxidante em óleos básicos. Todavia, o hidrotratamento é muitas vezes utilizado com o objetivo de diminuir o teor de enxofre já que sua presença, em determinadas formas e concentrações, pode causar corrosão acentuada (ASTM, 2015). A sua determinação se faz por diversos métodos analíticos, como Microcoulometria Oxidativa, Espectrometria de Emissão Atômica ou Espectroscopia de Fluorescência de Raios-X, a depender do método padrão adotado.

2.1.3.3 Resíduo de Carbono

Os resíduos de carvão, ou coque, deixados pelo óleo lubrificante em motores de combustão interna ou em compressores, são muito inconvenientes sob vários aspectos (BELMIRO, P.; CARRETEIRO, 2006).

Os métodos mais usuais de medição são o ensaio Conradson e o ensaio Ramsbottom. Ambos os métodos representam a quantidade de resíduo de carbono produzida pela evaporação e pirólise da amostra, que indica a tendência de o produto formar coque. O termo resíduo de carbono usado nesse método não corresponde exatamente ao resíduo composto inteiramente por carbono, e só é mantido por questões históricas (FARAH, 2012).

2.1.3.4 Cinzas

A determinação da quantidade de cinzas resultante da queima completa de uma amostra em uma mufla a 775 ± 25 °C indica a quantidade de matéria inorgânica presente (ABNT, 2009b).

Em óleos lubrificantes novos, ainda sem uso, a quantidade de cinzas indica principalmente a parte mineral dos aditivos, na maioria dos casos relacionados à capacidade de detergência do produto. É preciso lembrar, entretanto, que certos aditivos detergentes não deixam cinzas e essa não é uma medida direta.

Já nos óleos usados e mesmo nos óleos básicos rerrefinados, as cinzas são resultado da parcela oriunda dos aditivos com outra parcela proveniente de contaminantes vindos do desgaste ou ferrugem (BELMIRO, P.; CARRETEIRO, 2006).

2.1.3.5 Material Particulado e Número de Precipitação

Em óleos em serviço ou usados, e mesmo naqueles que passaram por um processo de rerrefino precário, pode haver **material particulado** em suspensão. As consequências podem ser graves, como o aumento do desgaste e lubrificação falha. Esse problema é contornado, em algumas aplicações, pela inserção de filtros na linha de óleo, que devem ser substituídos ou limpados periodicamente. Alguns dos métodos para mensurar a quantidade/concentração e granulometria de material particulado

presente em lubrificantes estão normatizados pela NAS 1638 (AIA, 2001) e pela ISO 4406 (ISO, 2017) e envolvem filtração e inspeção/contagem de partículas.

Outro parâmetro, o **número de precipitação,** indica o volume de matérias estranhas existentes no óleo lubrificante. Nesse ensaio, uma pequena amostra de óleo é misturada ao solvente nafta de petróleo, agitada, aquecida a uma temperatura entre 32 a 35º C e submetida à centrifugação. O volume de precipitado, em mililitros, é o número de precipitação. É desejável que esse número seja pequeno. Em óleos de primeiro refino, esse ensaio indica o grau de refinação do produto, pois os componentes asfálticos ou asfaltenos, indesejáveis, são insolúveis na nafta de petróleo (BELMIRO, P.; CARRETEIRO, 2006).

2.1.4 Propriedades Toxicológicas

2.1.4.1 Extrato em DMSO

É comprovada a carcinogenicidade de certos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PCA) que podem estar presentes em derivados de petróleo. O teste do extrato em DMSO, como padronizado pelo método IP 346 do Energy Institute (EI, 1992), consiste em um procedimento gravimétrico de diluição da amostra em hexano, seguida por duas extrações com dimetilsulfóxido (DMSO) e posterior concentração e quantificação do extrato. Esse teste concentra e estima o teor de compostos policíclicos aromáticos (PCA), hidrocarbonetos aromáticos, e compostos de enxofre e nitrogênio contendo anéis aromáticos condensados (ASTM, 2015).

Compostos poliaromáticos são compostos que podem ser normalmente encontrados no petróleo e em menor quantidade em óleos básicos lubrificantes. Apesar de ter sido demonstrado que algumas dessas substâncias causam câncer de pele pela exposição contínua, concentrações mínimas desses materiais podem ser benéficas em lubrificantes acabados porque acredita-se que eles contribuem para a estabilidade oxidativa natural além de conferirem melhoria na característica de solubilidade de aditivos (ASTM, 2015).

2.2 ÓLEOS BÁSICOS

Internacionalmente, há dois conceitos importantes relacionados às bases lubrificantes, como definidos pela norma americana ASTM D 6074 – Guia Padrão para Caraterização de óleos básicos lubrificantes hidrocarbônicos: *base stock*, sem tradução para o português, e *base oil*, ou óleo básico.

Essa norma define *base stock* como:

> Um componente de lubrificante hidrocarbônico, que não um aditivo, que é produzido por um único fabricante nas mesmas espeficicações (independente da fonte de abastecimento ou da localização do fabricante), e que é identificado por um único número de fórmulação ou número de identificação do produto, ou ambos (ASTM, 2015).

Por outro lado, *base oil* é definido como “um *base stock* ou uma mistura de dois ou mais *base stocks* usados para produzir lubrificantes acabados, normalmente em combinação com aditivos”(ASTM, 2015).

Essa distinção entre base stock e óleo básico não é comum no Brasil, sendo ambos indistintamente tratados como óleo básico (MELO, 2015). Certo é que o óleo básico é o principal constituinte do óleo lubrificante acabado e mesmo das graxas lubrificantes. Óleos básicos em geral são compostos por hidrocarbonetos que contêm 15 ou mais átomos de carbono e podem ser produzidos por uma diversidade de rotas a partir do petróleo (solvente, hidrorrefino, etc.) – quando recebem a denominação *óleo básico mineral* –, a partir do gás natural (Fischer-Tropsch ou Gas-to-Liquids) ou a partir de matérias-primas petroquímicas (síntese química) – quando são chamados óleos básicos sintéticos –, a partir de óleos vegetais ou mesmo da reciclagem do óleo lubrificante usado (rerrefino).

Devido à diversidade de rotas e de matérias-primas, o *American Petroleum Institute* (API), nos Estados Unidos, e a *Association Technique de L’industrie Europeanne des Lubrifiants* (ATIEL), na Europa, adotaram um sistema único no qual os óleos básicos são classificados de acordo com três parâmetros: teor de enxofre, teor de saturados e índice de viscosidade (API, 2012). Essa classificação é apresentada na tabela 1. A ANP adota, com algumas modificações, essa mesma classificação em seus regulamentos (BRASIL, 2009a;2017b). Todavia, os fornecedores de óleo básico podem negociar, com os formuladores, graus ou faixas de características desejáveis dentro dessas categorias pré-definidas. Por sua vez,

quando convenientemente misturado, um conjunto de óleos básicos resulta na viscosidade requerida.

TABELA 1 GRUPOS DE ÓLEOS BÁSICOS DE ACORDO COM API/ATIEL
FONTE: ADAPTADO DE BART; GUCCIARDI E CAVALLARO (2012) p. 35 E API (2012)

Grupo de óleo básico	Natureza do óleo básico	Enxofre (% m/m)		Saturados (% m/m)	IV
Grupo I	Rota solvente [a]	>0,03	e/ou	<90	80≤IV<120
Grupo II	Óleos hidrogenados ou hidrocraqueados [a]	≤0,03	e	≥90	80≤IV<120
Grupo III	Rota HCC [a]	≤0,03	e	≥90	IV≥120
Grupo IV	Todas as polialfaolefinas (PAOs)				
Grupo V	Todos não incluídos nos grupos I-IV [b]				

[a] óleos básicos minerais

[b] Grupo V inclui óleos naftênicos, óleos minerais brancos, ésteres, óleos vegetais, poliglicóis, etc.

Refinarias em todo o mundo, com o objetivo de atender uma demanda de mercado, especialmente influenciada pelos requerimentos do mercado automotivo, fizeram melhoras em seus processos e conseguiram óleos minerais de maior IV, dentro das mesmas faixas de enxofre e saturados. Foram criadas, então, categorias não oficiais I+ (*plus*), II+ e III+ que têm grande aceitação pelo mercado (BART et al., 2012).

2.2.1 Óleos básicos minerais

Os óleos básicos minerais são aqueles produzidos a partir do processamento do petróleo em refinarias voltadas para esse fim. Eles são classificados como parafínicos e naftênicos, dependendo da distribuição de hidrocarbonetos parafínicos/naftênicos (alcanos/cicloalcanos) em sua composição, que, por sua vez, é decorrente do petróleo que lhes dá origem e, em parte, da rota de refino a que o petróleo é submetido. A tabela 2 apresenta as principais divergências nas caracterísitcas normais de básicos parafínicos e naftênicos:

TABELA 2 CARACTERÍSTICAS COMPARADAS DE ÓLEOS BÁSICOS PARAFÍNICOS E NAFTÊNICOS.
FONTE: COMPILADO DE BELMIRO, P. E CARRETEIRO (2006) E DO BRASIL ET AL. (2012)

Característica	Parafínicos	Naftênicos
Índice de Viscosidade (IV)	Alto	Baixo
Ponto de fluidez	Alto	Baixo
Resistência à oxidação	Grande	Pequena
Volatilidade	Baixa	Alta
Oleosidade	Pequena	Grande
Resíduo de carbono	Grande	Pequeno
Solvência	Baixa	Alta
Emulsibilidade	Pequena	Grande
Carbono naftênico, % típico	20	40

Os óleos parafínicos sem dúvida são os mais produzidos por encontrarem aplicação na formulação da maior parte dos lubrificantes automotivos e industriais: motores, engrenagens, transmissões, sistemas hidráulicos, turbinas, mancais e compressores. Os básicos naftênicos, por apresentarem baixo ponto de fluidez, baixo IV e melhores características de solvência e emulsibilidade, são usados principalmente em aplicações especiais a baixas temperaturas; como óleos extensores de borracha; como fluidos de trabalho com metais (óleos de corte e laminação); e na formulação de graxas, fluidos para amortecedores e óleos isolantes elétricos (DO BRASIL et al., 2012).

Qualquer que seja o óleo básico, a primeira etapa empregada na sua produção é o preparo da carga, através da destilação (atmosférica e à vácuo) ou da desasfaltação. Em seguida, a rota de processamento das cargas geradas pode ser classificada em dois tipos: **rota convencional** (também chamada **rota solvente**); ou **rota hidrorrefino**.

Nem todas as refinarias produzem lubrificantes básicos. O mais comum é que o processo de produção de óleos básicos esteja acoplado a uma refinaria cujo foco principal são os combustíveis, como é o caso da Refinaria Duque de Caxias (REDUC), localizada na baixada fluminense e da Refinaria Landulpho Alves (RLAM), localizada no recôncavo baiano (CORRÊA, 2009). A seção de lubrificantes recebe como carga a fração de fundo da destilação atmosférica, ou resíduo atmosférico. A partir daí

separa as frações naturalmente presentes no petróleo que são de interesse na produção de óleos básicos daquelas que não devem estar presentes, como parafinas (alcanos lineares) e asfaltenos. Todavia, nem todos os petróleos do mundo têm em sua composição quantidade suficiente dessas frações de interesse, na faixa de destilação dos lubrificantes, que assegurem a rentabilidade da produção. Aqueles petróleos mais adequados serão preferencialmente selecionados por refinarias que produzem lubrificantes. Com a utilização de processo de hidrotratamento e hidrocraqueamento catalítico (HCC) severos, essa preocupação na seleção do petróleo diminui sobremaneira (JONES; PUJADÓ, 2006).

O resíduo atmosférico é então submetido à **destilação a vácuo**, onde são obtidas várias frações. As frações mais leves (i.e. que saem em frações mais altas da coluna), com menor ponto de fulgor, tendem a ser também as menos viscosas, de acordo com a seguinte ordem:

spindle < *neutro leve* < *neutro médio* < *neutro pesado*

O resíduo da coluna de vácuo segue para a **desasfaltação** a propano, que tem como finalidade extrair os óleos desasfaltados que darão origem aos óleos básicos *bright stock* e *cilindro*[1]. A desasfaltação é um processo de extração líquido-líquido que, quando objetiva a produção de lubrificantes, utiliza propano quase puro (~97%) como solvente. Seu subproduto é o resíduo asfáltico, que pode ser usado na formulação do cimento asfáltico de petróleo (CAP) ou diluído com correntes mais leves para compor o óleo combustível (DO BRASIL et al., 2012).

Após a destilação a vácuo e a desasfaltação a propano, ainda é necessário o ajuste do índice de viscosidade e do ponto de fluidez para que se possa atender às especificidades dos óleos lubrificantes acabados. Assim, com o objetivo de aumentar

[1] Os óleos básicos denominados *bright stock* e cilindro, provenientes da fração de fundo da destilação a vácuo, são, no geral, mais viscosos que as frações intermediárias e leves. Quanto ao índice de viscosidade, os óleos *bright stock* têm maior IV que os óleos cilindro. Encontram aplicação em grandes motores marítimos, cilindros de motores a vapor e outros usos onde alta carga, baixas velocidades e/ou altas temperaturas demandam óleos de alta viscosidade.

o IV, são realizados os processos de desaromatização e de desparafinação, para remover as n-parafinas, caracterizadas por possuírem altos pontos de fluidez. Antes de se chegar ao óleo básico especificado, é necessária ainda uma etapa de hidroacabamento para a redução do teor de compostos com heteroátomos (enxofre e nitrogênio) e saturação de alguns compostos menos estáveis, contendo dupla ligação. Aqui se diferenciam as rotas solvente e hidrorrefino. Na rota solvente, tanto a desaromatização quanto a desparafinação são processos físicos, com a extração por solvente dos compostos indesejados. Na rota hidrorrefino, por outro lado, é aplicado hidrogênio, na presença de catalisadores adequados, para reduzir a fração de compostos aromáticos e n-parafinas.

Na rota solvente, a **desaromatização** consiste em uma extração líquido-líquido, utilizando como solventes o furfural, o fenol ou a n-metilpirrolidona (NMP), com preferêcia pelo primeiro. O solvente, com maior afinidade pelos compostos aromáticos, forma um extrato rico em solvente (85-95%) que sai na fração de fundo da coluna (ou do extrator centrífugo) carreando consigo, especialmente, aromáticos policíclicos e compostos sulfurados e nitrogenados na forma de anéis condensados contendo heteroátomos. O rafinado (10-20%), pobre em solvente, sai pelo topo. Ambas as frações, extrato e rafinado, seguem então para seus respectivos sistemas de recuperação de solvente, que consistem em separações atmosférica e/ou à vácuo e retificação com vapor de água, seguida de secagem do solvente (DO BRASIL et al., 2012). O extrato aromático é um subproduto desta etapa, sendo utilizado como agente rejuvenescedor de asfaltos ou óleo extensor para a indústria de borrachas. No entanto, devido à sua toxicidade, está sendo banido dessas aplicações (MELO, 2015). Os rafinados seguem para a desparafinação.

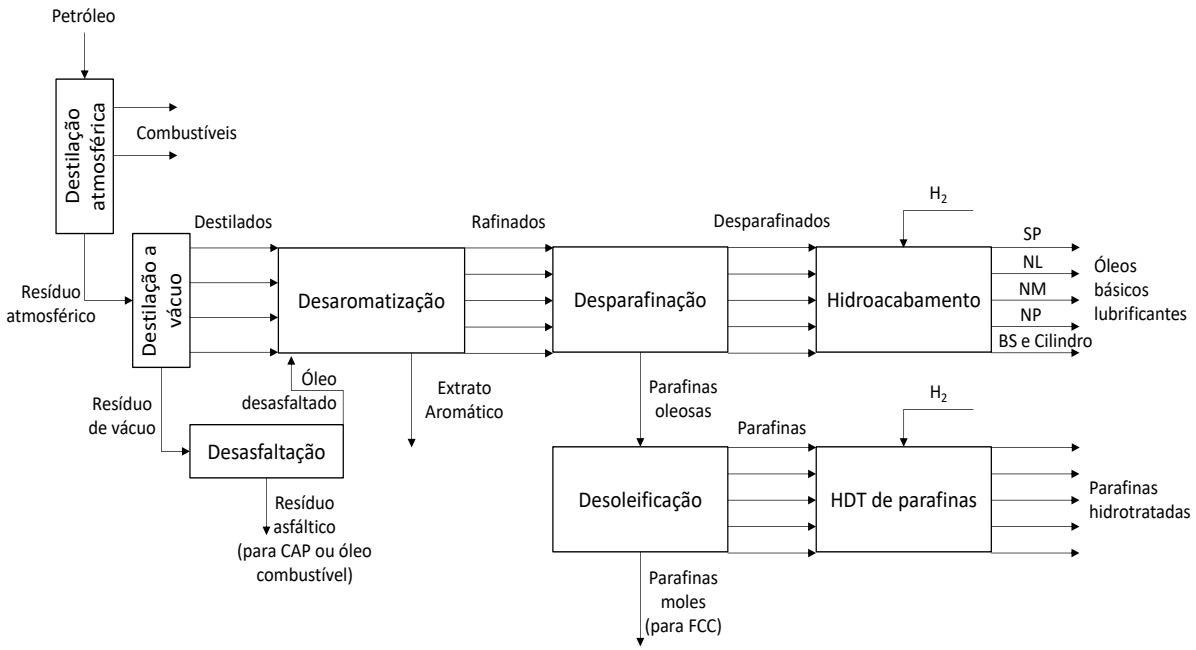
A **desparafinação** é o processo no qual as parafinas são removidas dos óleos básicos por cristalização e filtração, com o auxílio de um solvente. Para isso, a carga é diluída com solvente e é resfriada controladamente, de modo que as parafinas, que apresentam menor ponto de fluidez, cristalizam paulatina e uniformemente antes da filtração. O solvente, que na maioria dos processos é a metilisobutilcetona (MIBC) ou a metiletilcetona (MEC), diminui a viscosidade da fase fluida e rejeita as parafinas cristalizadas, que são separadas em um filtro com tambor rotativo. As parafinas são lavadas posteriormente com mais solvente, a fim de retirar resíduos oleosos, na etapa chamada desoleificação. Tanto a fase oleosa proveniente da filtração quanto as fases

líquida e sólida da desoleificação seguem para seus respectivos sistemas de recuperação de solvente (JONES; PUJADÓ, 2006). As parafinas são co-produtos da produção de lubrificantes por esse processo. Para aplicação comercial, ela passam ainda por hidrotramento com catalisador a base de níquel-molibdênio, com o objetivo de ajustar a cor, e são comercializadas para uma ampla gama de aplicações (DO BRASIL et al., 2012).

O óleo desparafinado segue então para uma última etapa, de **hidroacabamento** em catalisador a base de cobalto molibdênio, que remove compostos sulfurados e oxigenados, conferindo-lhe as características desejáveis de estabilidade, cor e corrosividade. As reações mais importantes aqui são de dessulfurização.

Um diagrama de blocos das etapas envolvidas na produção de óleos lubrificantes básicos através da rota solvente é mostrado na figura 3.

FIGURA 3 ESQUEMA DE PROCESSAMENTO DE ÓLEOS BÁSICOS – ROTA SOLVENTE
FONTE: ADAPTADO DE DO BRASIL ET AL. (2012) p. 238



Já na rota hidrorrefino, várias das etapas até agora descritas são substituídas por processos catalíticos de hidrogenação. A desaromatização convencional, por exemplo, pode ser substituída por um hidrotratamento (HDT) em que as principais reações são de saturação dos aromáticos, dessulfurização e desnitrogenação, com reações de hidracraqueamento ocorrendo em baixa intensidade. Nesse processo, não

há a formação de um extrato aromático. Já a desparafinação pode ser substituída pela hidrodesparafinação (HDW, do inglês *hydrodewaxing*), em que as parafinas lineares são hidrocraqueadas seletivamente, ou pela hidroisodesparafinação (HIDW, do inglês *hydroisodewaxing*), no qual parafinas lineares são convertidas em alcanos ramificados sobre catalisador a base de platina-paládio. Esses processos reservam as vantagens de produzir óleos básicos com maior índice de viscosidade (IV) e em maior rendimento.

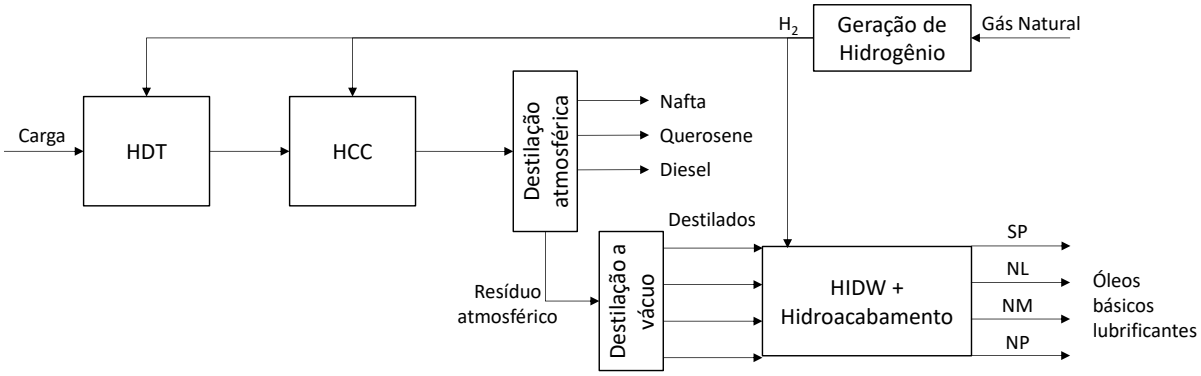
Existem diversos esquemas possíveis, dependendo de quais moléculas se deseja eliminar e do quanto se deseja converter em novas substâncias. Dentre eles, se destacam a rota de hidrotratamento, HDT, e a rota de hidrocraqueamento severo, HCC.

Na rota HDT, essencialmente a desaromatização é substituída por um processo HDT, com catalisador geralmente à base de níquel-molibdênio. As cargas são muito parecidas com a rota solvente, ou seja, gasóleos de vácuo e óleo desasfaltado, com faixas de destilação já definidas na entrada do HDT. No processamento de óleos básicos naftênicos, essa é a única etapa do processo. No caso de básicos parafínicos, deve haver ainda uma etapa de desparafinação (a solvente, HDW ou HIDW) e uma etapa de hidroacabamento (DO BRASIL et al., 2012). A refinaria Lubnor, em Fortaleza/CE é projetada para produzir óleos básicos naftênicos em rota HDT (MELO, 2015).

Na rota HCC, a carga (gasóleo de vácuo e/ou óleo desasfaltado) não entra diretamente na faixa de destilação requerida pelo mercado, mas sim com uma ampla faixa de destilação. A rota inicia por uma etapa de HDT, onde ocorre a saturação de aromáticos e remoção de contaminantes sulfurados e nitrogenados antes da etapa de HCC. O HDT serve de preparação da carga e é importante para eliminar o que seriam venenos para o catalisador do HCC, bem como compostos poliaromáticos precursores da formação de coque. No HCC, ocorrem a abertura de anéis naftênicos e o craqueamento catalítico da carga, com formação de diversas frações mais leves. Assim, há a necessidade de mais uma etapa de destilação atmosférica (para separação de produtos na faixa da nafta, querosene e diesel) e uma destilação a vácuo, onde saem os cortes na faixa dos lubrificantes requeridos, que devem passar ainda pela unidade de HIDW e hidroacabamento. Essa conjugação dá maior flexibilidade à escolha do petróleo que abastecerá a refinaria, além de produzir

combustíveis e nafta petroquímica com baixo teor de enxofre e ótima qualidade. Os lubrificantes produzidos apresentam alto IV e baixo ponto de fluidez, que os faz comparáveis aos básicos sintéticos. Atualmente não existem no Brasil refinarias que operem na rota HCC (MELO, 2015). Um esquema simplificado dessa rota é apresentado na figura 4.

FIGURA 4 ESQUEMA DE PROCESSAMENTO DE ÓLEOS BÁSICOS – ROTA HCC
FONTE: ADAPTADO DE DO BRASIL ET AL. (2012) p. 247



2.2.2 Óleos básicos sintéticos

Óleos lubrificantes sintéticos são aqueles obtidos por síntese química, onde tanto a matéria prima quanto o produto final têm composição mais bem definida. A evolução industrial dessa classe de produtos vem da necessidade em aplicações que requerem maior estabilidade, menor variação de propriedades, especialmente menor variação de viscosidade, em ampla faixa de temperatura e pressões (por exemplo, nas aplicações aeronáuticas), resistência à oxidação e maior vida útil. Os óleos sintéticos são, então, mais sofisticados e específicos, com a contrapartida de serem, em geral, mais caros. Sua utilização, sem dúvida, requer uma criteriosa análise de custo benefício. Alguns dos tipos mais comuns são apresentados brevemente.

Polialfaolefinas (PAO) são hidrocarbonetos oligômeros derivados de monômeros de alcenos lineares, na faixa de C8-C12 com uma dupla ligação no início da molécula. O monômero mais comum é o dec-1-eno. Possuem boa estabilidade térmica e oxidativa. Operam em uma ampla faixa de temperatura – ponto de fluidez menor que -30 ºC – apresentam alto ponto de fulgor, alto índice de viscosidade e baixa volatilidade. Sua maior aplicação continua a ser o setor automotivo, nos óleos de

cárter de motor, em resposta a especificações cada vez mais restritas, de baixa volatilidade (TOTTEN et al., 2003).

Os **ésteres** são derivados da reação entre um ácido carboxílico e um álcool, em presença de catalisadores ácidos ou básicos. Normalmente, sua produção envolve as etapas de esterificação, propriamente dita, neutralização (para retirada do catalisador e de reagentes ácidos ou básicos) e filtração. Podem variar desde os monoésteres, como o glicerol mono-oleato, aplicado em modificadores de viscosidade, até os Polióis Ésteres, que possuem diversas unidades de repetição. Os diésteres tem alta aplicabilidade, pois atuam em conjunto com as polialfaolefinas ajudando a solubilizar aditivos e como agentes de aumento de IV. São utilizados em uma ampla faixa de temperatura, pois apresentam baixo ponto de fluidez, alto ponto de fulgor e baixa volatilidade. Apresentam ainda bons resultados em teste de biodegradabilidade e toxicidade. Estes compostos são desenhados para aplicações extremamente específicas, com viscosidades específicas, especialmente para o mercado industrial (óleos hidráulicos e para compressores) e aeronáutico.

Dá-se o nome comum de **silicones** para a classe dos polisiloxanos. O exemplo mais importante é o de compostos conhecidos como Polidimetil-siloxano. Estes apresentam alta massa molecular e suas viscosidades podem variar entre 1 e 700.000 cSt a 25ºC. Possuem a melhor relação temperatura-viscosidade entre qualquer líquido lubrificante. Além disso, apresentam altíssima estabilidade térmica. De maneira geral, os silicones são quimicamente inertes, possuem alta resistência a oxidação – dada sua forte ligação silício-oxigênio –, alta resistência térmica, além da baixa toxicidade. Estes óleos são usualmente empregados em motores elétricos, máquinas e instrumentos de precisão, em equipamentos plásticos e pneumáticos de refrigeradores. Contudo, sua principal aplicação ocorre na fabricação de graxas, onde são usados como espessantes.

Poliisobutenos (PIB) são produtos da polimerização do isobuteno. São base na produção de alguns óleos para laminação de metais, cabos de aço, engrenagens e outros (BELMIRO, P.; CARRETEIRO, 2006). Podem ainda ser utilizados como espessantes, com objetivo de aumentar a viscosidade de fluidos pouco viscosos, ou aditivos funcionais para aumentar o IV (HOLWEGER, 2013).

Além dos já citados, existem várias outras famílias de óleos sintéticos como os polialquileno-glicóis, aromáticos alquilados, entre outros. A escolha da inclusão

desses óleos básicos na formulação do lubrificante acabado deve levar sempre em conta sua adequação aos requisitos de desempenho e o preço, já que costumam ter custo mais elevado que os óleos minerais.

2.2.3 Biolubrificantes

A composição química dos óleos vegetais e animais consiste principalmente de triglicerídeos (também conhecidos como triacilgliceróis). Os triglicerídeos, por sua vez, são compostos por três moléculas de ácido graxo, em muitos casos com cadeia insaturada, unidas por ligação éster a uma única molécula de glicerol. As diferenças entre os óleos obtidos a partir de fontes diferentes estão associadas ao comprimento das cadeias de ácidos graxos, ao número de ligações duplas na cadeia e à proporção relativa entre diferentes ácidos graxos.

A utilização de óleos vegetais e animais como lubrificantes apresenta as vantagens de excelente lubricidade e proteção contra o desgaste, índices de viscosidade adequados, baixa volatilidade, biodegradabilidade, baixa toxicidade e não serem carcinogênicos. Todavia, são desvantagens a baixa estabilidade oxidativa e alto ponto de fluidez (DE MATOS, 2011).

Como demonstrado por SOARES (2013), tem ocorrido a substituição de óleos minerais pelos vegetais em (i) ciclos abertos, onde há risco de contaminação do ambiente, como em motosserras, linhas de trem e guindastes de plataformas *offshore*; e (ii) trabalho em metais (o termo consagrado em inglês, *metal working*, é também bastante utilizado no Brasil), onde o óleo vegetal é bastante eficiente em refrigerar o material de trabalho e a ferramenta, além de formar emulsões mais estáveis nos óleos emulsionáveis.

2.3 ADITIVOS PARA LUBRIFICANTES

Um lubrificante acabado contém tanto um óleo básico quanto um pacote de aditivos. A quantidade e variedade de aditivos desse pacote é função da sua qualidade (i.e. sua capacidade de atingir a performance necessária), da qualidade de óleo básico (que é dada por sua características físicas e químicas) e do uso pretendido para o óleo formulado. Um pacote de aditivos pode responder por até 30%, e em alguns

casos até mais, da composição total do óleo lubrificante, dependendo da performance exigida e da severidade a que será submetido em serviço (TOTTEN et al., 2003), apesar de, em geral, os fluidos lubrificantes conterem mais de 90% de óleo básico em sua composição (DO BRASIL et al., 2012). Em geral, óleos básicos de menor qualidade exigem quantidades maiores de aditivação que básicos de melhor qualidade. Da mesma forma, aplicações como lubrificação de motores e transmissões automotivas, que exigem mais do lubrificante, requerem aditivação superior que outras aplicações menos demandantes. Os óleos de cárter de motor representam a maior parcela do uso de aditivos (TOTTEN et al., 2003).

Um pacote de aditivos contém várias classes de aditivos, voltados a melhorar as caracterísicas finais do óleo em vários aspectos. As funções primárias de cada classe são rapidamente descritas a seguir.

2.3.1 Agentes estabilizantes e controladores de depósito

Esse grupo minimiza a quantidade de formação de depósito.

Os **antioxidantes** controlam a decomposição oxidativa de lubrificantes e aditivos. Muitas das vezes são moléculas/sistemas cuja oxidação é preferencial, formando produtos de decomposição menos danosos que os da decomposição do óleo básico ou dos demais aditivos.

Os **dispersantes** mantêm dispersos no lubrificante aqueles contaminantes que normalmente seriam insolúveis. Os **detergentes** impedem o ataque de metal por subprodutos ácidos de combustão e oxidação e mantêm as superfícies metálicas livres de depósitos.

2.3.2 Agentes formadores de filme

A lubrificação é necessária para facilitar o deslizamento de duas superfícies em movimento relativo. Esta função, que geralmente é realizada pelo óleo básico, pode ser aprimorada usando óleos de alta viscosidade. No entanto, além de uma certa temperatura limiar, o lubrificante não consegue formar um filme efetivo, podendo resultar em fricção e desgaste. Esse grupo de aditivos formadores de filme atua para

aumentar a durabilidade do filme lubrificante ou formar filmes químicos em superfícies metálicas.

Os **modificadores de fricção** geralmente diminuem o coeficiente de atrito, levando assim a melhorada economia de combustível e ao controle do desgaste. **Agentes antidesgaste** e **agentes de extrema pressão** formam finas camadas que protegem as superfícies metálicas contra o contato metal-metal e, consequentemente, inibem o desgaste e os problemas decorrentes dele. Os **inibidores de ferrugem e corrosão** impedem a corrosão e oxidação de peças metálicas que entrem em contato com o lubrificante.

2.3.3 Aditivos poliméricos

Os materiais com estruturas poliméricas são os principais componentes em lubrificantes de alto desempenho. Eles podem tanto ser usados como bases lubrificantes (óleos básicos sintéticos) ou para melhorar as propriedades inerentes do lubrificante, como a viscosidade e o ponto de fluidez. Eles também podem ser usados como materiais de partida para preparar certas classes de aditivos, como dispersantes e detergentes – nesses casos são mais oligoméricos do que poliméricos, isto é, o seu peso molecular é relativamente menor.

Os **melhoradores de índice de viscosidade** (**MIV,** ou do inglês, *VI improvers***)** minimizam a taxa de diminuição da viscosidade com um aumento de temperatura. Os **abaixadores do ponto de fluidez** permitem que um lubrificante flua a baixas temperaturas.

Os **emulsionantes** promovem a mistura de água e óleo para formar uma emulsão – em algumas aplicações como em fluidos hidráulicos e em trabalho com metais, essa caracterísitica é desejável e certos lubrificantes são utilizados em emulsão. Já os **demulsificantes** melhoram a separação da água do óleo contaminado com água – como em óleos para turbinas a vapor.

Os **inibidores de espuma** impedem o lubrificante de formar espuma persistente.

2.3.4 Outros aditivos

Além das principais classes de aditivos descritos acima, os lubrificantes podem conter uma série de outros aditivos. Dentre eles podemos citar:

Agentes expansores de selo atuam na proteção dos anéis selantes, feitos de elastômeros diversos, que de outra forma seriam atacados por certos óleos básicos e aditivos com subsequente encolhimento e deteriorização. São mais aplicados na formulação de fluidos de transmissão e fluidos hidráulicos.

Corantes são utilizados para colorir o produto com os mais diversos fins – criação de identidade da marca comercial; facilitar identificação visual do fluxo do produto, de vazamentos ou mesmo de contaminação cruzada, etc.

Biocidas previnem a degradação de lubrificantes devido à proliferação e ao ataque microbiano. Em geral, os lubrificantes à base de óleo mineral resistem ao ataque microbiano por causa de sua operação a alta temperatura e da presença de aditivos, muitos dos quais já têm ação biocida. Todavia, lubrificantes com alto teor de água como certos fluidos de trabalho em metal e fluidos hidráulicos são facilmente atacados por bactérias e fungos caso não contenham biocidas em concentração adequada.

Fluidos para trabalho em metais, devido à suas características peculiares, utilizam ainda uma gama muito maior de aditivos, que vão desde tamponantes de pH, aromatizantes, até agentes inibidores da formação de névoa.

2.4 ÓLEOS LUBRIFICANTES ACABADOS

São vários os sistemas e elementos de diferentes máquinas que necessitam de lubrificação. Para cada um desses componentes espera-se que o lubricante atenda a certos requisitos de desempenho, que vão variar de acordo com a tecnologia do equipamento, com as exigências ambientais e com limitações de ordem econômica e prática. Os fabricantes (ou formuladores) de lubrificantes disponibilizam ao mercado uma ampla gama de formulações de óleos lubrificantes, produzidos a partir da mistura de óleos básicos e aditivos, convenientemente dosados de acordo com uma proporção já prestabelecida. Os consumidores devem escolher o lubrificante adequado dentro dessa gama de produtos. Sua escolha muita das vezes é guiada

pelas recomendações do fabricante do equipamento ou por sua equipe de manutenção, que conhece as características tanto do maquinário quanto dos óleos disponíveis no mercado. Identificada uma oportunidade, tanto fabricantes de equipamentos quanto clientes (majoritariamente clientes industriais) podem se articular com os fabricantes de lubrificantes para o desenvolvimento de uma nova formulação, que atenda a um novo conjunto de requisitos de desempenho.

A seguir serão discutidas algumas das principais aplicações dos óleos lubrificantes, bem como são feitas considerações sobre as especificações de desempenho mais relevantes.

2.4.1 Motores a combustão interna

Vários tipos de lubrificantes são utilizados em um veículo. Como veremos em detalhes em capítulos posteriores, os óleos para motores são os utilizados em maior volume, seguidos pelos fluidos de transmissão. Motores automotivos a combustão interna são máquinas complexas, fabricadas com alta precisão, que operam em estado transiente e em alta temperatura na maior parte do tempo. O objetivo nessa seção não é explicar o funcionamento dos motores que operam em diferentes ciclos (ciclo otto, diesel, dois tempos, etc.), para os quais há literatura ampla em português (BRUNETTI, 2012; MARTINS, 2006). São comentados aqui aspectos relevantes imprescindíveis para o bom desempenho de um lubrificante de motor, os principais sistemas de classificação adotados pelo mercado e os principais fatores avaliados nessas classificações.

O desenvolvimento de novos motores, cada vez mais eficientes, é impulsionado por várias forças, dentre elas legislações cada vez mais restritivas quanto às emissões veiculares, busca pela economia de combustíveis e lubrificantes e evolução do design dos veículos. A cada nova geração de equipamentos, são buscados lubrificantes que possam atender aos requisitos de desempenho também em constante evolução.

Todavia, é possível imaginar quão problemático seria se, para cada modelo de motor de cada montadora, houvesse uma única formulação ideal de um único (ou alguns poucos) fabricante de lubrificantes. Além da complicada logística, semelhante à das peças automotivas de reposição, as dificuldades relacionadas à obsolescência

dos motores seriam agravadas. Ao longo do desenvolvimento conjunto das indústrias automotiva e de lubrificantes, percebeu-se que não é necessária tamanha especificidade, ou seja, uma classe de lubrificantes pode atender diversos modelos de motores de diversas montadoras, bem como um mesmo motor pode ser suprido por algumas classes de lubrificantes. Todavia, foi primordial estabelecer certos padrões de classificação que trouxeram vantagens importantes, tais como (BELMIRO, P.; CARRETEIRO, 2006): (i) facilidade de comunicação entre fabricantes de equipamentos e lubrificantes, a indústria do petróleo e o consumidor; (ii) estabelecimento de testes e definições precisas sobre a qualidade; (iii) possibilidade de introdução gradual de novas categorias de óleos, sem alterar ou eliminar as já existentes, preservando, dentro de certos limites, a retrocompatibilidade.

Uma das características mais importantes do lubrificante, a viscosidade, foi uma das primeiras a ser levada em conta em um sistema de classificação dos óleos para motor pela *Society of Automotive Engineers* (SAE), logo no início do século XX. Com uma série de evoluções, esse sistema vigora até hoje. Atualmente a classificação SAE J300 se baseia na viscosidade cinemática a 100 °C e na viscosidade dinâmica medida por um simulador de partida a frio, CCS (do inglês, *cold craking simulator*). Os diversos graus são historicamente identificados com números baseados nos dois primeiros dígitos da viscosidade saybolt dos óleos, sendo acrescentada a letra W, de *winter*, aos graus de viscosidade a frio. A tabela 3 apresenta a versão mais recente da classificação SAE J300.

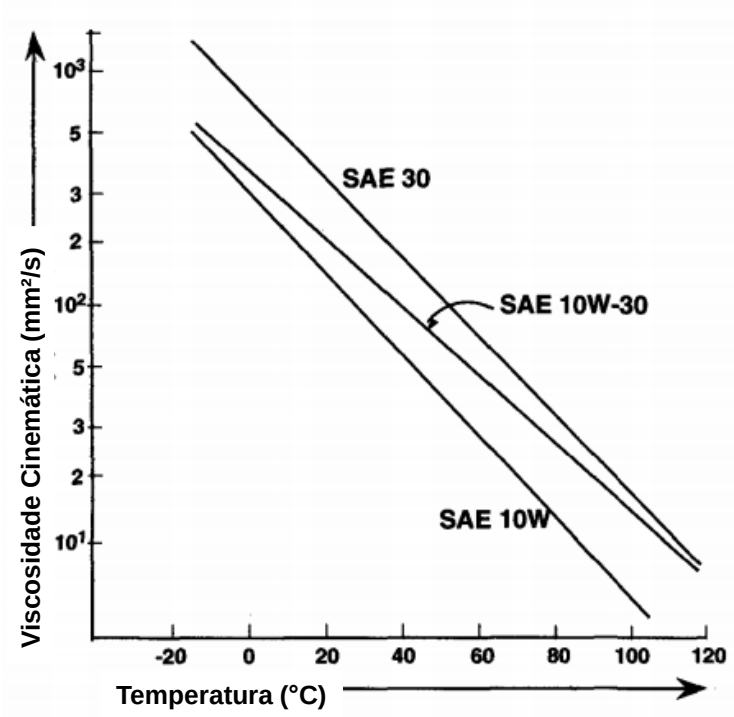
TABELA 3 GRAUS DE VISCOSIDADE SAE PARA ÓLEOS DE MOTORES – SAE J300 JAN/2015
FONTE: ADAPTADO DE SAE (2015)

Grau de Viscosidade SAE	Viscosidade a baixa temperatura		Viscosidade em alta temperatura		
	Viscosidade CCS[(a)], (cP) máx	Viscosidade de bombeamento[(b)], (cP) máx	Viscosidade cinemática[(c)] (cSt) a 100°C		Viscosidade em alta taxa de cisalhamento[(d)] (cP) a 150°C, mín
			mín	máx	
0W	6200 a -35°C	60000 a -40°C	3,8	-	-
5W	6600 a -30°C	60000 a -35°C	3,8	-	-
10W	7000 a -25°C	60000 a -30°C	4,1	-	-
15W	7000 a -20°C	60000 a -25°C	5,6	-	-
20W	9500 a -15°C	60000 a -20°C	5,6	-	-
25W	13000 a -10°C	60000 a -15°C	9,3	-	-
8	-	-	4	<6,1	1,7
12	-	-	5	<7,1	2
16	-	-	6,1	<8,2	2,3
20	-	-	6,9	<9,3	2,6
30	-	-	9,3	<12,5	2,9
40	-	-	12,5	<16,3	3,5 (0W-40, 5W-40,10W-40)
40	-	-	12,5	<16,3	3,7 (15W-40, 20W-40, 25W-40, 40 monograu)
50	-	-	16,3	<21,9	3,7
60	-	-	21,9	<26,1	3,7

(a) ASTM D5293;
(b) ASTM D4684;
(c) ASTM D445;
(d) ASTM D4683, CEC L-36-A-90 (ASTM D4741), ou ASTM D5481
cP = centipoise cSt = centistoke

Segundo a classificação SAE, um óleo pode possuir um grau a quente e um frio, sendo chamado multiviscoso. Assim, por exemplo, um óleo 10W30 possui classificação a frio 10W e a quente 30. O espessamento variável de óleo a baixas e altas temperaturas é obtido com melhoradores de índice de viscosidade (MIV). Os óleos multigrau, ou multiviscosos, são projetados para proporcionar viscosidade adequada a altas temperaturas para proteção do motor e baixa viscosidade a baixas temperaturas para facilitar a partida. A figura 5 mostra as características de viscosidade vs. temperatura de óleos de grau único e multigrau.

FIGURA 5 CARACTERÍSTICAS DE VISCOSIDADE - TEMPERAURA DE ÓLEOS DE GRAU ÚNICO E MULTIGRAU
FONTE: TOTTEN ET AL. (2003) p.225



As últimas revisões da classificação SAE J300 têm avançado no processo de estender o sistema de classificação para baixar as viscosidades de alta temperatura. Na revisão de janeiro de 2015, por exemplo, foram adicionadas duas novas classes de viscosidade de alta temperatura - SAE 12 e SAE 8. O benefício de estabelecer novas classes de viscosidade é fornecer uma estrutura para a formulação de óleos de motores com menor viscosidade na temperatura de trabalho do motor, que tem sido um dos caminhos encontrados pelas montadoras para melhorar a economia de combustível (SAE, 2015).

Apesar dessa preocupação da SAE, a classificação com base apenas na viscosidade diz muito pouco quanto ao desempenho do óleo em serviço. Durante a exposição do lubrificante a alta temperatura na presença de oxigênio, há o risco de componentes do lubrificante reagirem com oxigênio para formar ácidos orgânicos, que podem ser corrosivos ou formarem depósitos sobre as partes do motor. Agentes antioxidantes e aditivos detergentes alcalinos são adicionados para diminuir a formação e a ação de ácidos orgânicos. Agentes inibidores de espuma na formulação diminuem a tensão interfacial para que bolhas de ar possam rapidamente escapar do fluido. Melhoradores de índice de viscosidade são adicionados para que o lubrificante

diminua a variação de viscosidade com a temperatura, já que o motor dá partida ainda frio e, após certo tempo, atinge altas temperaturas. Quando o motor ainda é novo, tem rebarbas ou pontos de rugosidade que, à medida que vão sendo desbastadas, liberam detritos - o lubrificante tem a função de transportar esses detritos até o filtro de óleo ou depositá-los no fundo do reservatório de óleo (o cárter do motor).

O óleo do motor deve permanecer funcional, apesar de o combustível e os produtos de combustão se condensarem no óleo em condições como viagens curtas e arranques a frio em um clima de inverno, durante o qual o combustível e a água podem se acumular no óleo do motor em concentrações superiores a 5%. Durante a operação em alta temperatura, o óleo do motor não deve evaporar ou degradar excessivamente.

Considerando essas características do uso, se fizeram necessários uma variedade de testes para garantir que um dado lubrificante automotivo execute suas funções com sucesso. Esses testes incluem (TOTTEN et al., 2003):

- Testes de motores que imitam diferentes estilos de condução ou de operação;
- Propriedades físicas e químicas do lubrificante;
- Corrosividade do lubrificante durante o uso;
- Proteção contra desgaste fornecida pelo lubrificante;
- A eficácia residual do pacote de aditivos do lubrificante.

Os protocolos de testes incluem ensaios de bancada, em motores estacionários e, eventualmente, em serviço, sempre resguardando o compromisso entre a facilidade/custo de aplicação, a reprodutibilidade/repetividade e a correlação entre as condições do teste e as condições reais de uso do produto.

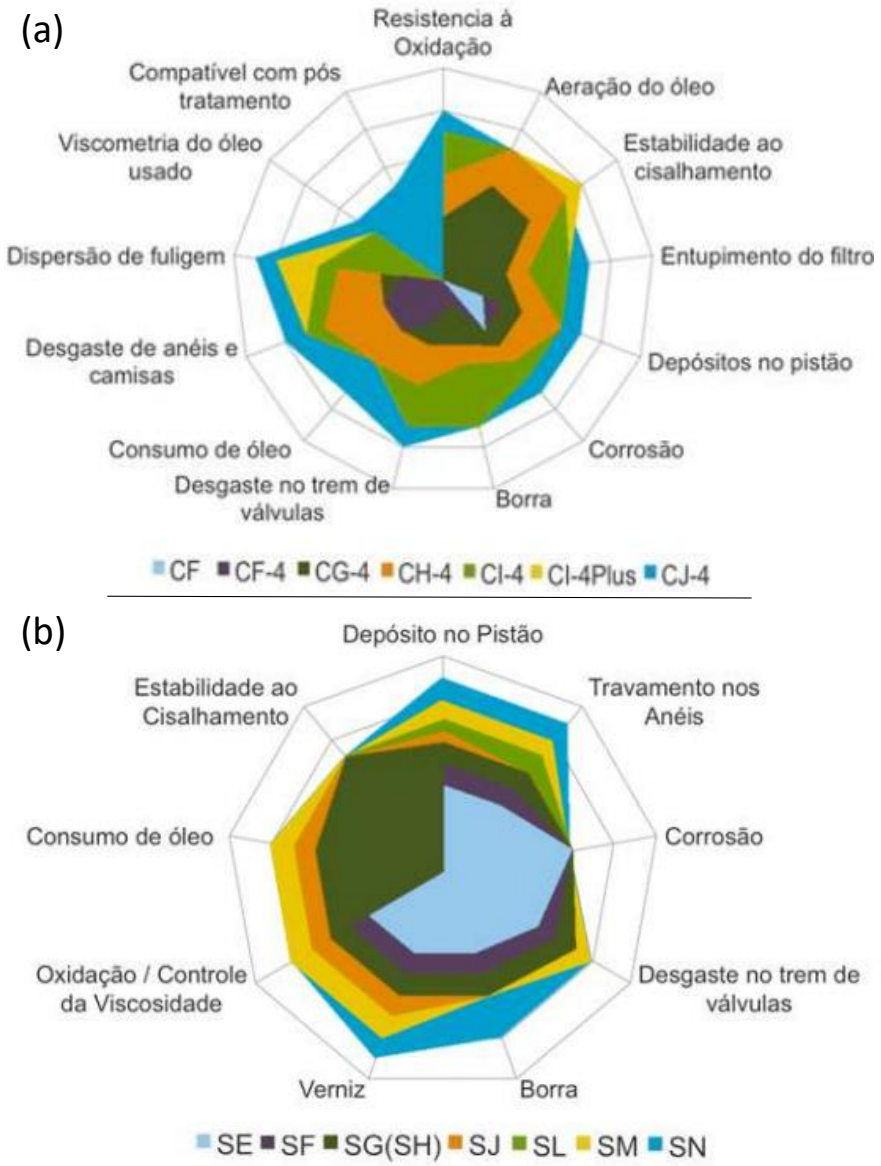
Ao longo dos anos, muitas organizações contribuíram para o desenvolvimento dos padrões de desempenho do óleo de motor. A designação de óleos de motor com base no desempenho começou apenas em 1947 – antes disso só haviam sido definidos ensaios físico-químicos e faixas específicas para as várias propriedades medidas dos óleos de motor.

Finalmente, em 1969, três organizações, a API (*American Petroleum Institute*), a ASTM (*American Society for Testing and Materials*) e a SAE (*Society of Automotive Engineers*) colaboraram para estabelecer um sistema de designação de desempenho, que ainda está em uso e, provavelmente, é o sistema mais usado no mundo com essa finalidade (TOTTEN et al., 2003). Neste sistema, foram

estabelecidas inicialmente duas **séries** de desempenho do óleo do motor, já consagradas, e diversas **classes** de desempenho. A série "**S**", na qual S vem de *service* (serviço, em algumas traduções), é usada com motores 4 tempos a gasolina, com ignição a centelha (ciclo otto). No Brasil, essa mesma série é usada também para os veículos *flex-fuel* e movidos a gás natural. A série "**C**", do inglês *comercial*, é destinada a motores a diesel de ignição por compressão e de alta rotação, tanto a dois tempos como a 4 tempos. Finalmente, em dezembro de 2016, a API introduziu uma nova série de lubrificantes, a série "**F**", também para motores 4 tempos ciclo diesel a serem lançados a partir de 2017 – a principal diferença é que os lubrificantes dessa série não apresentam retrocompatibilidade com os da série C, e não são recomendados para uso com combustível contendo mais que 15 ppm de enxofre (API, 2017).

As classes são identificadas por letras, em ordem alfabética, que evoluem com a criação de óleos com desempenho superior. Assim, tem-se, para motores a gasolina SA, SB, SC, etc. e, para diesel, CA, CB, etc. além do mais recente FA-4. Via de regra, os lubrificantes de classes superiores dentro de uma mesma série são retrocompatíveis com motores mais antigos, desde que atendido o padrão SAE de viscosidade exigido pela montadora. A figura 6 apresenta gráficos polares com a evolução de requisitos de desempenho selecionados nas séries API C e S. Como é possível notar nesses gráficos, a "área" abrangida por uma classe superior engloba a "área" de todas as classes inferiores. Para cada dos critérios, está normatizado um ou mais testes de bancada e/ou testes em motores.

FIGURA 6 EVOLUÇÃO DOS REQUISITOS DE APROVAÇÃO DOS NÍVEIS DE DESEMPENHO API
(a) SÉRIE C - CICLO DIESEL E (b) SÉRIE S – CICLO OTTO.
FONTE: ANP (2013) p.13



Os primeiros lubrificantes, categorias API SA e CA, eram óleos básicos não aditivados, que já estavam obsoletos quando esse sistema de classificação foi proposto. Outros óleos foram ficando também obsoletos com o passar dos anos, à medida que os próprios combustíveis e motores padrão utilizados nos testes de desempenho foram caindo em desuso. Atualmente, a norma SAE J183 (SAE, 2017b) considera obsoletas as categorias até **SH** e **CF**, recomendando apenas as categorias superiores. No Brasil, a legislação é ainda mais restritiva e exige os padrões mínimos

de desempenho API **SL** e API **CH-4** para óleo de motores automotivos ciclos Otto e Diesel, respectivamente, desde janeiro de 2017 (BRASIL, 2014b).

As séries API S, C e F são as classificações mais usadas, já que atendem os motores a combustão interna mais comuns: aqueles de carros de passeio que operam em ciclo otto e os motores movidos a diesel de caminhões, ônibus, tratores e mesmo carros de passeio em alguns países. Entretanto, há uma série de outros tipos de motores com características e necessidades distintas. Alguns deles são brevemente comentados a seguir.

Motocicletas utilizam motores a gasolina, com ignição por centelha, tanto 4 tempos quanto motores 2 tempos. Seus motores têm características significativamente diferentes dos motores de veículos de passageiros: são refrigerados a ar (enquanto nos carros de passeio a refrigeração é líquida), rodam em temperaturas e rotações mais altas, têm maior densidade de potência e normalmente se é exigido que o mesmo óleo do motor lubrifique também a transmissão e as engrenagens. Os motores 2 tempos guardam ainda a particularidade de o óleo lubrificar as partes do motor enquanto passa pela câmara de combustão e então é queimado junto com o combustível – em alguns casos, o fabricante recomenda que se misture o lubrificante ao combustível no abastecimento. Nesses casos, há ainda maior preocupação para que o lubrificante não forme depósitos e sua formulação busca utilizar o mínimo possível de aditivos e óleos básicos que depositem cinzas inorgânicas ou material carbonáceo (PIRRO; WEBSTER; DASCHNER, 2017).

Padrões de desempenho de óleos para motor de motocicletas amplamente aceitos são estabelecidos pela *Japanese Automotive Standards Organization* (JASO), bem como pelas tradicionais ISO, API e SAE. Para motores 2 tempos, a norma JASO M354 estabelece três graus de desempenho FB, FC e FD para óleos de baixo conteúdo de cinzas, que são similares aos graus EGB, EGC e EGD da norma ISO 13738; além desses, há o padrão API TC e a norma SAE J2116. Para motores 4 tempos, a norma JASO T403 introduz os padrões MA e MB, que guardam similaridade com os padrões EMA e EMB da norma ISO 24254 (PIRRO et al., 2017).

Os motores ciclo diesel para **uso industrial** ou **marítimo** variam de alguns poucos cavalos de potência (hp, do inglês *horsepower*) até 100 mil hp ou mais. Geralmente eles se dividem em três classes: alta rotação (operação a mais de 1000 rpm), média rotação (entre 375 e 1000 rpm) e baixa rotação (a maioria opera a menos

de 100 rpm). Os requisitos de lubrificação para esses motores variam não só com a classe de rotação, mas também com o combustível que consomem (PIRRO et al., 2017).

Os motores diesel de alta rotação para essas aplicações geralmente utilizam óleo diesel como combustível, cujo conteúdo de enxofre raramente ultrapassa 1% - no Brasil a legislação permite no máximo 1800 ppm, ou 0,18% (BRASIL, 2012). Com diesel dessa qualidade, o desgaste corrosivo de cilindros e anéis pode ser controlado com os níveis de desempenho de lubrificantes já estabelecidos para os motores diesel automotivos (CH, CI, CJ, etc.). Se o motor é de um dos tipos desenvolvidos para serviço **ferroviário** (usados não só em locomotivas, mas também em rebocadores, grupos geradores, etc.), deve ser usado um dos tipos de lubrificates desenvolvidos para motores ferroviários. Os motores diesel de média e baixa rotação, especialmente os de maior tamanho, muitas das vezes utilizam combustíveis com teor de enxofre mais elevado, como o MGO (do inglês *marine gasoil*) ou o bunker, que pode chegar a um teor de enxofre de 3,5%. Por conveniência, os óleos lubrificantes desses motores são descritos com base no seu TBN (o índice de basicidade total) (PIRRO et al., 2017).

Motores de **aviação** a combustão interna com pistões geralmente operam com gasolina de aviação, um combustível especial e diferente da gasolina automotiva comum. Esses são motores pequenos de aeronaves também pequenas que operam vôos privados e algumas rotas comerciais. Em anos anteriores, sua lubrificação era realizada geralmente por lubrificantes minerais de alta qualidade não aditivados. Com o tempo, óleos com pacotes aditivos dispersantes têm sido aprovados pelos fabricantes de motores por conferirem maior limpeza ao motor. Há grande cuidado na escolha de sua base lubrificante, atualmente semi-sintética de alta qualidade. Nesse mercado, muitas das especificações de desempenho são normatizadas pelos próprios fabricantes do motor (PIRRO et al., 2017).

2.4.2 Engrenagens, transmissões e sistemas hidráulicos

Num veículo automotivo, além do motor, há diversas outras partes móveis que necessitam de lubrificação adequada. O sistema de transmissão, incluindo o câmbio (manual ou automático) são os elementos que mais utilizam óleo lubrificante além do motor. Além disso, os sistemas de freios e de direção hidráulica são dois exemplos

onde um fluido é utilizado para transmitir força de um ponto a outro. Para além da aplicação automotiva, os óleos minerais e sintéticos são amplamente utilizados em engrenagens, mancais e sistemas hidráulicos na indústria, onde os requisitos de desempenho são os mais diversos.

Um sistema de engrenagens, como aquele da transmissão de um veículo, normalmente executa diversas funções, provocando ações de deslizamento em conjunto com rolamento e situações de extrema pressão, portanto aditivos de extrema pressão são comuns. Dependendo da aplicação, o óleo lubrificante deve ainda prover proteção contra oxidação, degradação térmica, corrosão e formação de espuma. Os óleos para engrenagens automotivas são classificados de maneira similar aos óleos de motor, isto é, pelos graus de viscosidade SAE, pelas classes de serviço API e pelos requisitos de desempenho dos fabricantes. Além dos testes padrão de viscosidade, em baixas ou em altas temperaturas, a norma SAE J306 especifica também um teste de estabilidade ao cisalhamento. Quando um aditivo polimérico é submetido ao cisalhamento por certo tempo, há probabilidade de sua cadeia polimérica se romper, com consequente diminuição irreversível da viscosidade observada do lubrificante. Assim, nessa classificação, o lubrificante deve se manter no grau de viscosidade inicial por no mínimo 20 horas no teste de estabilidade ao cisalhemento da norma CEC L-45-T-93. A classificação dos óleos para engrenagens automotivas com base na viscosidade é apresentada na tabela 4.

TABELA 4 GRAUS DE VISCOSIDADE SAE PARA ÓLEOS DE ENGRENAGENS – SAE J306 AGO/17
FONTE: ADAPTADO DE SAE (2017A)

Grau de Viscosidade SAE	Temperatura máxima para a viscosidade de 150000 cP (°C) (a)	Viscosidade cinemática (cSt) a 100°C (b)	
		mín (c)	máx
70W	-55	4,1	-
75W	-40	4,1	-
80W	-26	7,0	-
85W	-12	11,0	-
80	-	7,0	<11,0
85	-	11,0	<13,5
90	-	13,5	<18,5
110	-	18,5	<24,0
140	-	24,0	<32,5
190	-	32,5	<41,0
250	-	41,0	-

(a) ASTM D2983;
(b) ASTM D445;
(c) Limite também a ser atingido pelo teste CEC L-45-T-93, m

Além da classificação em graus de viscosidade, os lubrificantes para engrenagens automotivas são classificados com base no desempenho. As principais são a série GL da API, a classificação com base na norma MIL-PRF-2105E do exército americano e a norma SAE J2360 (TOTTEN et al., 2003).

Já os lubrificantes para engrenagens industriais são utilizados em condições de carga moderada. Estes lubrificantes são aplicados em caixas de engrenagens fechadas e abertas. Os conjuntos de engrenagens industriais são mais diversos do que os conjuntos de engrenagens automotivas e, no caso de engrenagens abertas, geralmente são lubrificados por aplicação manual. Os sistemas de classificação mais comuns são (BELMIRO, P.; CARRETEIRO, 2006; TOTTEN et al., 2003):

- O grau ISO, estabelecido pela norma ISO 3448, baseado na viscosidade;
- O número AGMA (de *American Gear Manufacturing Association*), estabelecido pela norma AGMA 9005, que agrega características de desempenho mínimo à classificação da ISO;
- Diversos outros sistemas de classificação com base no desempenho, estabelecidos por associações ou por fabricantes de peças.

2.4.3 Outros óleos lubrificantes acabados

As aplicações dos óleos lubrificantes são extremamente diversas, e vão muito além da lubrificação de motores e engrenagens, apesar de esses serem os destinos da maior parte do volume produzido. Nesta seção são relacionadas e discutidas brevemente outras aplicações dos óleos minerais, seja em lubrificação propriamente dita ou em funções diversas.

Óleos minerais são usados em processos de aquecimento indireto, onde não é viável a utilização de aquecimento direto por serpentinas ou queimadores, ou onde não é recomendado o aquecimento indireto por vapor, mesmo esse sendo mais econômico. Óleos minerais são geralmente utilizados como **fluido de troca térmica** em temperaturas acima de 260°C (500°F) dado o alto custo de utilização de vapor nessa faixa de temperaturas. Alguns fluidos de transferência de calor a base de óleo mineral podem ser usados acima de 315°C (600 °F), embora a faixa de uso mais comum para esses fluidos seja de 150-300°C (300-570 °F) (TOTTEN et al., 2003).

O desempenho de um fluido para transferência de calor depende das suas propriedades físicas, incluindo condutividade térmica, densidade, calor específico e viscosidade. Essas, por sua vez, dependem da composição do óleo mineral e do seu grau de refino e devem ser disponibilizadas pelo fornecedor do óleo, junto com informações sobre o ponto de fulgor e estabilidade térmica e oxidativa.

Óleos minerais são utilizados no interior de transformadores de tensão elétrica. Nesse caso, recebem a denominação comum de **óleo isolante**. O transformador consiste em núcleos de ferro laminado com dois enrolamentos de fios de cobre em forma de bobinas, por onde circulam correntes elétricas alternadas que, devido à resistência elétrica dos materias, geram calor.

Os pequenos transformadores (até 1,5 kW) são geralmente refrigerados apenas por ar. Para os tipos maiores, há dois tipos de sistemas de refrigeração a óleo: com auto-refrigeração e com sistema de refrigeração do óleo com água. A principal função do óleo nesse caso é dissipar o calor gerado. Para isso, devem ser de fácil circulação com baixa viscosidade e devem atuar como um bom isolante dielétrico entre os componentes da turbina. Os óleos isolantes são especificados pela ANP (BRASIL, 2008) e são classificados em dois tipos de acordo com sua composição

hidrocarbônica: os do tipo A são de natureza naftênica enquanto os do tipo B são de natureza parafínica.

Em operações de **trabalho em metal**, tais como usinagem, corte, laminação, estampagem, trefilação, etc. se coloca em contato uma peça metálica com uma ferramenta, em um processo que envolve muito atrito, altas temperaturas e degaste da ferramenta; nesses casos, é papel do lubrificante, ou fluido de trabalho em metal, conter a ação desses fenômenos. Eles são responsáveis por refrigerar, lubrificar e proteger as partes contra corrosão.

Os fluidos de trabalho em metal não são apenas derivados de petróleo, mas compreendem uma gama muito maior de líquidos. Costuma-se separá-los em aquosos ou oleosos, a depender da natureza dos seus componentes principais. Os tipos aquosos podem ser óleos solúveis, que se apresentam na forma de emulsões a serem diluídas em água pelo fabricante ou pelo cliente; ou as soluções químicas de sais e aminas que têm função especialmente de proteção de corrosão e devem também ser diluídos para aplicação. Os tipos oleosos compreendem os óleos minerais, à base de derivados de petróleo; os óleos graxos, de base vegetal ou animal; e os óleos mistos (BELMIRO, P.; CARRETEIRO, 2006).

2.5 QUALIDADE DOS ÓLEOS LUBRIFICANTES NO BRASIL

No Brasil, a ANP, órgão responsável pela regulação das atividades da indústria de petróleo e seus derivados, tem a competência legal de atuar na proteção dos interesses dos consumidores quanto a preço, **qualidade** e oferta dos produtos nos mercados regulados. No segmento de lubrificantes, a Agência operacionaliza esse objetivo de diversas maneiras, que serão discutidas a seguir.

2.5.1 Especificações para os óleos básicos lubrificantes.

Uma das formas de elevar os padrões de qualidade do produto oferecido ao consumidor é estabelecer especificações nacionais, por meio de regulação, que exigem que as características do produto estejam dentro de faixas pré-determinadas, mensuradas através de um ou mais métodos documentados, reprodutíveis e também pré-definidos.

Atualmente os óleos básicos lubrificantes têm sua especificação estabelecida através da Resolução ANP nº 669/2017 (BRASIL, 2017b). Essa Resolução ANP substituiu as antigas Portarias ANP nº 129/99 e nº 130/99 e estabele, dentre outras coisas, especificações para:

(i) Os óleos básicos dos Grupos I (exceto rerrefinado), II, III e Naftênicos, de primeiro refino nacional e importados; e

(ii) Os óleos básicos rerrefinados do Grupo I, que devem ser enquadrados nas categorias RR-10, RR-30, RR-40, RR-55 ou RR-70.

Essa especificação é aplicável somente para os agentes que comercializarem óleos básicos a produtores de lubrificantes acabados autorizados pela ANP. Dessa maneira, empresas que comercializarem básicos a fábricas de tintas, de borrachas dentre outras podem estabelecer critérios próprios de qualidade para seus produtos. Do mesmo modo, importadores e produtores que utilizarem os óleos básicos para uso próprio estariam dispensados de atender à especificação da ANP.

Também pela Resolução ANP nº 669/2017, é vedada a adição de polímeros, ou quaisquer outros aditivos, ao óleo básico a ser comercializado, tais como MIV's.

Finalmente, cabe destacar que essa Resolução tem o objetivo de assegurar as boas práticas mundialmente aceitas de intercambiabilidade de óleo básico *(Base Oil Interchangeability – BOI)*, previstas na norma API 1509 (API, 2012).

2.5.2 Registro de produtos e níveis mínimos de desempenho

Dada a imensa gama de aplicações e de níveis de desempenho requisitados, bem como a rápida evolução das tecnologias, não há algum tipo fechado de "especificação" para os óleos lubrificantes acabados. No Brasil, o registro de produto é o mecanismo através do qual a agência reguladora defende o consumidor quanto à garantia de qualidade dos produtos (BRASIL, 2014b). Nessa sistemática, o produtor ou importador de óleo informam à ANP qual é a composição do lubrificante acabado e quais os níveis mínimos de desempenho que esse lubrificante espera atender, de acordo com padrões e ensaios internacionalmente aceitos. A ANP realiza uma análise das informações do rótulo e alguns testes de bancada na amostra recebida, após os quais, se atendida a legislação vigente, o lubrificante pode então ser comercializado. A partir daí, todos os seus lotes devem atender aos mesmos níveis de desempenho

apresentados à época da outorga do registro, estando sujeitos à fiscalização e sanção do órgão regulador em caso de descumprimento.

Desde a década de 70, os lubrificantes acabados vêm sendo regulados pela instituição competente do setor de petróleo, à época o Conselho Nacional do Petróleo (CNP). A primeira legislação que tratou desse tema foi a Resolução CNP n° 8, de 27/8/1970 e, dentre as suas principais regras, constavam a obrigatoriedade do registro prévio dos produtos e a submissão das especificações físico-químicas no ato do registro. Daquela época em diante, a obrigatoriedade de registro de lubrificantes se mantém, com algumas mudanças e adaptações ao longo dos anos.

Em 1999, a ANP editou a Portaria nº 131/1999, que foi a primeira a exigir um nível de desempenho mínimo para concessão do registro dos lubrificantes para motores automotivos. À época, foi exigido nível de desempenho API SE e CC para motores ciclo otto e ciclo diesel, respectivamente, ou nível de desempenho ACEA equivalente. Também foram requeridos níveis mínimos para motores dois tempos (BRASIL, 1999b). Essa legislação foi atualiza em 2007, com a Resolução ANP nº 10/2007, que passou a exigir níveis API SF e CF para ciclo otto e diesel. Finalmente, em 2014, foi estabecido novo cronograma para elevação para os níveis mínimos SJ e CG-4 em 2015 e para SL e CH-4 em 2017. A evolução desses patamares mínimos é apresentada na tabela 5.

Antes da entrada em vigor da Resolução ANP nº 22/2014, estavam disponíveis no mercado brasileiro lubrificantes automotivos de tecnologia obsoleta, indicados para motores desenvolvidos na década de 80 (motores de ciclo Otto) e na década de 90 (motores de ciclo Diesel). O problema da presença no mercado de produtos considerados obsoletos é o da sublubrificação dos motores automotivos, que ocorre quando há utilização de lubrificantes que não atendem de maneira satisfatória às exigências dos novos motores, que têm evoluído para condições mais severas de compressão, temperatura e rotação. A sublubrificação de um motor diminui sua vida útil, podendo, em alguns casos, causar sérios danos com grande prejuízo econômico ao consumidor (ANP, 2013).

TABELA 5 NÍVEIS MÍNIMOS DE DESEMPENHO DE LUBRIFICANTES ESTABELECIDOS PELA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA
FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA A PARTIR DE (BRASIL, 1999B;2007;2014B)

	Portaria ANP Nº 131/1999	**Resolução ANP Nº 10/2007**	**Resolução ANP Nº 22/2014**	
Início da vigência	**junho/2000**	**março/2008**	**janeiro/2015**	**janeiro/2017**
a) para motores do ciclo OTTO:	API SE ou ACEA equivalente	API SF ou ACEA equivalente	API SJ ou ACEA equivalente	API SL ou ACEA equivalente
b) para motores do ciclo DIESEL:	API CC ou ACEA equivalente	API CF ou ACEA equivalente	API CG-4 ou ACEA equivalente	API CH-4 ou ACEA equivalente
c) para motores de dois tempos refrigerados à ar:	API-TC e/ou JASO-FB	API-TC e/ou JASO-FB	API-TC e/ou JASO-FB	API-TC e/ou JASO-FB
d) para motores de dois tempos refrigerados à água:	NMMA TC-WII (NR)	NMMA TC-WII	NMMA TC-W3	NMMA TC-W3
e) para motores 4 tempos de motocicletas	N/A	N/A	norma JASO T903 combinada aos níveis mínimos estabelecidos para ciclo Otto	norma JASO T903 combinada aos níveis mínimos estabelecidos para ciclo Otto

* N/A = Não apresentado explicitamente. Os lubrificantes para motores 4 tempos de motocicletas deveriam seguir os mesmos níveis mínimos para motores ciclo otto.

2.5.3 Programa de Monitoramento da Qualidade de Lubrificantes (PML)

A ANP mantém, desde 2006, o Programa de Monitoramento dos Lubrificantes (PML) com o objetivo de acompanhar sistematicamente a qualidade dos óleos lubrificantes automotivos comercializados no País, e também proporcionar uma ferramenta para o direcionamento das suas ações da fiscalização. Nesse programa, são coletadas amostras de lubrificantes em pontos de revenda, tais como, postos revendedores, supermercados, lojas de autopeças, oficinas mecânicas, concessionárias de veículos, distribuidores e atacadistas. As amostras são analisadas

pela ANP quanto à conformidade do registro do produto e da empresa, bem como quanto à qualidade. Nos ensaios de qualidade, são realizados os seguintes ensaios:

a) Viscosidade Cinemática a 100°C;

b) Viscosidade Cinemática a 40°C;

c) Viscosidade dinâmica à baixa temperatura – CCS;

d) Teor de elementos: Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Zinco (Zn) e Fósforo (P), por meio dos quais é possível avaliar a aditivação dos óleos lubrificantes.

e) Ponto de Fulgor;

f) Perda por evaporação - NOACK.

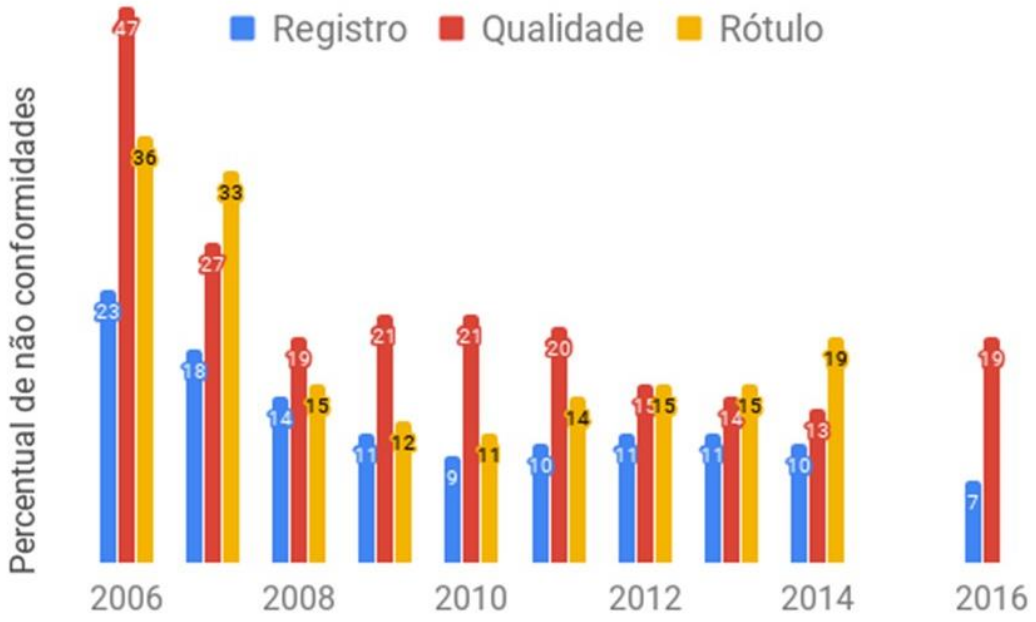
g) Espectroscopia de infravermelho para detecção de produtos prejudiciais ao motor como óleo vegetal, básico naftênico, extrato aromático e água.

Esses são todos ensaios de bancada, de execução relativamente simples (se comparados, por exemplo, com os ensaios em motores estacionários) e que são amplamente empregados pela indústria para controle de qualidade na fabricação de lubrificantes. Assim, de maneira geral, os ensaios escolhidos cumprem bem o papel de monitoramento da qualidade do produto disponível no mercado nacional.

Até 2014, o PML verificava também a conformidade do rótulo do produto, verificação que foi descontinuada nos anos seguintes. As amostras do PML não são mais avaliadas quanto ao rótulo pelo fato de que, após a publicação da Resolução ANP n°22/2014, todos os rótulos são verificados no momento do registro do produto. A fiscalização da ANP, no entanto, continua fiscalizando os lubrificantes quanto a esse quesito (BRASIL, 2018b).

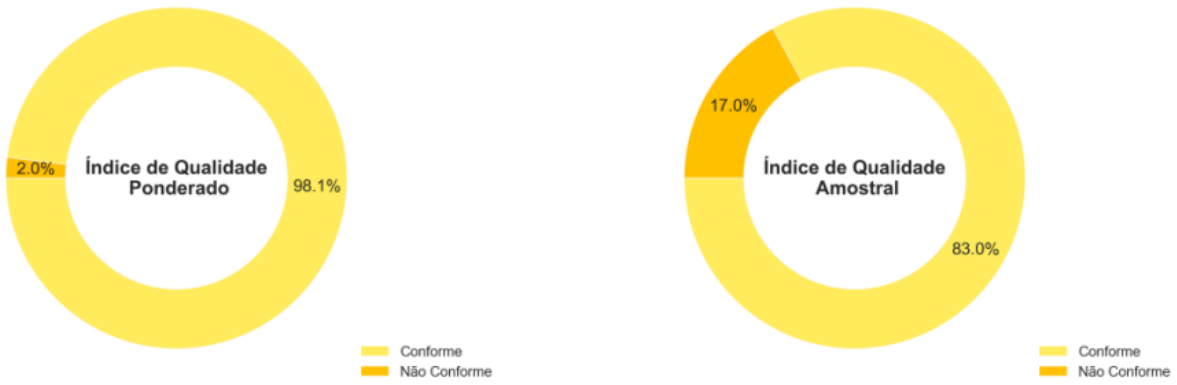
A evolução do percentual de amostras coletadas que apresentaram não conformidades quanto a algum desses quesitos é apresentada no gráfico 1. É possível observar uma tendência de redução em todos os indicadores ao longo do período de existência do programa. Importante notar que, devido a uma grande reforma nas instalações laboratoriais da ANP, o programa ficou paralisado em 2015 (BELMIRO, P. N., 2017). Em sua retomada, em 2016, o percentual de amostras não conformes por qualidade aumentou, frente aos níveis de 2014. Isso reforça a importância de manutenção desse programa que, mesmo que não tenha objetivo direto de sancionar possíveis infrações, visa auxiliar na melhoria da qualidade dos produtos ofertados ao mercado brasileiro.

GRÁFICO 1 HISTÓRICO DE NÃO CONFORMIDADES DO PML ATÉ 2016.
FONTE: Adaptado de VINHADO (2017) p. 87



Em 2017, foi introduzido um novo índice de acompanhamento da qualidade dos lubrificantes no PML. Esse indicador recebe o nome de índice de qualidade ponderado (IQP), que é calculado ponderando o número de amostras conformes/não conformes pela participação volumétrica da empresa no mercado (i.e., seu *market share*). A partir do IQP, é possível minimizar a distorção causada pelo viés de coleta existente no PML. Como esse índice foi quantificado apenas recentemente, sua série histórica não está disponível. Para último bimestre de 2017, é mostrada sua comparação com o índice de qualidade amostral no gráfico 2.

GRÁFICO 2 COMPARATIVO ENTRE DIFERENTES INDICADORES DE QUALIDADE DO PML, PARA O ÚLTIMO BIMESTRE DE 2017.
FONTE: (BRASIL, 2018B)



A diferença considerável existente nos valores entre o IQP (98,1% de conformidade) e o Índice de qualidade amostral (83,0% de conformidade) é justificada pela presença massiva de óleos lubrificantes pertencentes a empresas que possuem participação de mercado inferior a 1%. Assim, mesmo em um cenário no qual o atual sistema de amostragem não seja o ideal, pois não representa a presença de mercado de cada empresa, o cálculo realizado pelo IQP é uma alternativa para tornar o indicador de qualidade do PML mais próximo da realidade do mercado de óleos lubrificantes automotivos.

3. O MERCADO DE ÓLEOS LUBRIFICANTES

3 O MERCADO DE ÓLEOS LUBRIFICANTES

Esse capítulo se propõe a apresentar a cadeia de suprimento de lubrificantes acabados. Após caracterizar os agentes desse mercado, sua regulamentação e a localização geográfica da sua infraestrutura, é ponderada a dimensão desse mercado no Brasil e seus principais fluxos de insumos e produtos acabados, através do exame de informações obtidas da base de dados da ANP. O nível de concentração desse mercado é apurado e comparado com outros segmentos. O mercado global é brevemente visualizado e, finalmente, são apontadas as perspectivas para o setor.

3.1 CADEIA DE SUPRIMENTO

O conceito de cadeia de suprimento passou a fazer parte do vocabulário de gestores empresariais e a gestão da cadeia de suprimento se consolidou como uma área de estudo acadêmico, pesquisa e prática de negócios (BALLOU, 2007). BALLOU (2009) afirma que "*a cadeia de suprimentos abrange todas as atividades relacionadas com o fluxo e a transformação de mercadorias desde o estágio da matéria prima (extração) até o usuário final, bem como os respectivos fluxos de informação*".

Assim, a cadeia de suprimentos dos lubrificantes inclui desde a exploração e produção de petróleo até o consumidor final, que promove a lubrificação de seu equipamento.

A produção e o consumo de petróleo são descentralizados no mundo, de modo que é necessário transporte por dutos ou navios tanque até uma refinaria. Os preços do petróleo são estabelecidos diariamente, como uma commodity, em função da oferta e demanda do produto. Mesmo com 200 variedades de petróleo no mundo, consideram-se apenas dois preços de referência (Brent e WTI) para as transações internacionais em razão de sua qualidade e localização em relação aos grandes mercados (União Européia e América do Norte) (MIELNIK, 2012).

Na cadeia de valor, o refino valoriza o petróleo, gerando os derivados que serão utilizados na atividade econômica. Refinadores produzem o óleo lubrificante básico em diferentes variedades, ou *grades*, cujo preço, direta ou indiretamente, varia conforme o preço da matéria prima.

A exploração de gás natural, muitas vezes associado ao petróleo, e o refino alimentam a cadeia petroquímica que, em diversas etapas, produz plásticos e compostos químicos os mais variados, para as mais diversas aplicações (PERRONE; SILVA FILHO, 2013). A partir daí, por exemplo, são produzidos óleos básicos sintéticos, aditivos para lubrificantes e as embalagens plásticas para os óleos automotivos.

O produtor de óleo lubrificante acabado decide seus fornecedores de óleos básicos, aditivos, embalagens e outros insumos, dentre as opções disponíveis, não só com base no preço cobrado, mas também de acordo com sua competência técnica, capacidade de atendimento, confiabilidade, serviço pós-venda, localização geográfica, saúde financeira, condições comerciais, afinidades com os valores da empresa e aspectos relacionados à preservação ambiental e ações de responsabilidade social (AYRES, 2009).

Uma vez produzido, o óleo lubrificante acabado chega ao consumidor final por meio de uma cadeia de distribuição, que pode ser organizada pelo próprio produtor ou pode ser terceirizada para empresas com melhores condições de desenvolver essa atividade. Os produtos podem também ultrapassar as fronteiras entre países. Nesse caso, um importador se responsabiliza pela nacionalização daquele bem. Na distribuição de lubrificantes, estão incluídas empresas especializadas na revenda por atacado e, em maior número, revendedores varejistas. Muitas das vezes os revendedores varejistas fornecem, além do produto, também o serviço de indicação técnica do melhor lubrificante para o equipamento do cliente e os serviços de troca do óleo e descarte adequado do óleo usado.

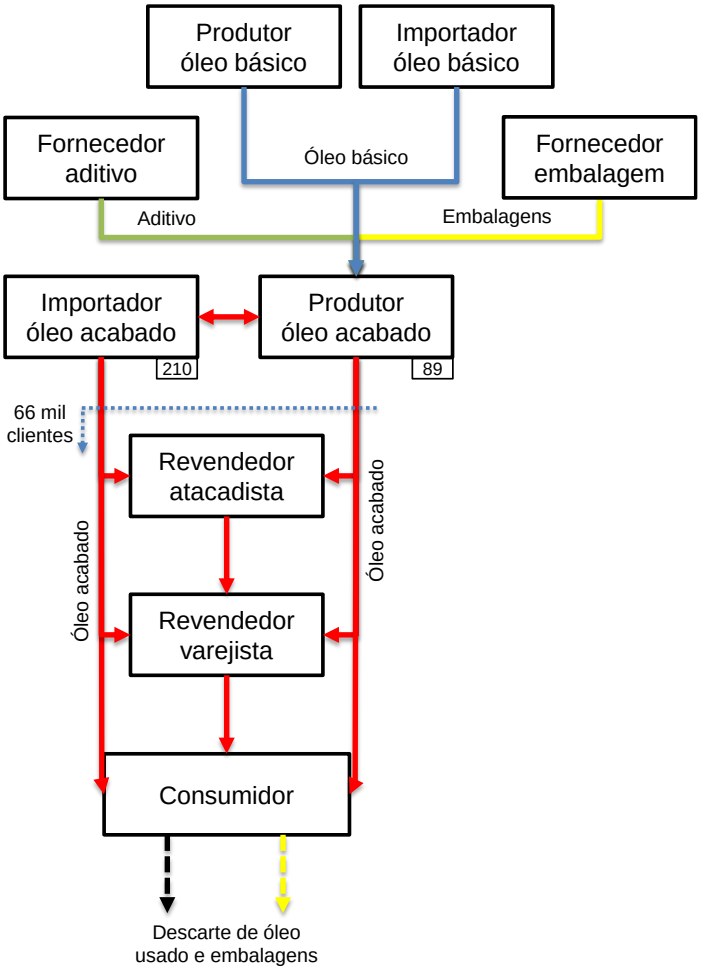
Em pesquisa do Ibope sobre o hábito dos consumidores de óleo lubrificante, encomendada pela Associação Nacional das Distribuidoras de Combustíveis, Lubrificantes, Logística e Conveniência (Plural), quando perguntados sobre o local escolhido para completar ou trocar o óleo da última vez, os entrevistados indicaram oficinas (32%), postos de gasolina (29%) e concessionárias (11%) como favoritos. Apenas 8% deles ainda fazem a troca em suas próprias casas (PLURAL, 2018).

Após a troca de óleo, tanto o OLUC gerado quanto a embalagem de lubrificante vazia, considerados resíduos perigosos pela norma setorial brasileira (ABNT, 2004), devem ser acondicionados com segurança e destinados para

empresas especializadas no seu tratamento. A partir daí tem início a logística reversa de lubrificantes, que será tratada em detalhes no capítulo 4.

A figura 7 se propõe a fazer um recorte ilustrativo da cadeia de suprimentos dos óleos lubrificantes. Em alguns passos, é identificado o número de empresas envolvidas naquele segmento, considerado apenas o mercado brasileiro. Importante destacar como, a partir de 210 importadores e 89 produtores nacionais de óleo lubrificante acabado, partiram vendas para mais de 66 mil clientes, entre revendedores atacadistas, varejistas e consumidores finais dos setores industrial, de extração, de serviços e pessoas físicas. Esse enorme número de clientes por fornecedor exige uma robusta estrutura administrativa de atendimento, cadastramento de clientes, colocação de pedidos, controle de pagamentos, concessão de crédito, bem como estrutura logística de identificação/separação de pedidos e entrega. Não é por acaso que algumas empresas decidem por delegar a terceiros a atividade de distribuição.

FIGURA 7 RECORTE DA CADEIA DE SUPRIMENTO DE LUBRIFICANTES
FONTE: Elaboração própria com dados de DUQUE; MOREIRA E DUTRA (2017) P.59.



Importante notar que, para o exercício de algumas dessas atividades, é necessária a autorização da ANP, conforme descrito a seguir.

3.1.1 Base normativa e requisitos à entrada

A base normativa vigente da ANP para o mercado de lubrificantes é relativamente recente, com seus regulamentos mais antigos publicados no ano de 2009. O arcabouço regulatório da Agência para esse setor pode ser dividido em dois focos principais:

a) Regulação das atividades, com vistas à autorização (ou cadastramento) das empresas e instalações previamente ao seu funcionamento. Esse é caso das Resoluções ANP nº 16, nº 17, nº 18, nº 19 e nº 20 de 2009. Também podem ser incluídas no arcabouço partes das Resoluções ANP nº 42/2011 e nº 51/2010;

b) Regulação dos produtos e rótulos, com vistas à especificação dos lubrificantes e à garantia da qualidade e da clareza de informações ao consumidor. Incluem-se aqui as Resoluções ANP nº 22/2014 e nº 669/2017.

O quadro 1 descreve o escopo principal de cada um desses normativos:

QUADRO 1 RESOLUÇÕES DA ANP PARA O MERCADO DE LUBRIFICANTES
FONTE: (DUQUE ET AL., 2017)

	Base Normativa	Escopo
Foco na Atividade	Resolução ANP nº 16/2009	Cadastramento de produtor e de importador de óleo lubrificante básico e as regras para a comercialização desse produto.
	Resolução ANP nº 17/2009	Autorização para o exercício da atividade de importação de óleo lubrificante acabado, e a sua regulação.
	Resolução ANP nº 18/2009	Autorização para o exercício da atividade de produção de óleo lubrificante acabado, e a sua regulação.
	Resolução ANP nº 19/2009	Autorização para o exercício da atividade de rerrefino de óleo lubrificante usado ou contaminado, e a sua regulação.
	Resolução ANP nº 20/2009	Autorização para o exercício da atividade de coleta de óleo lubrificante usado ou contaminado, e a sua regulação.
	Resolução ANP nº 51/2010	Regulamentação base das atividades de importação e exportação. Estabelece a dispensa da autorização ao exercício da atividade para as empresas que importarem óleo lubrificante acabado em quantidade inferior a 100 kg/mês.
	Resolução ANP nº 42/2011	Autorização de construção e de operação das instalações de produção de óleo lubrificante acabado, bem como de rerrefino ou de coleta de óleo lubrificante usado ou contaminado .
Foco no Produto	Resolução ANP nº 22/2014	Registro de graxas e óleos lubrificantes destinados ao uso veicular e industrial e de aditivos em frasco para óleos lubrificantes de motores automotivos, bem como responsabilidades de seus detentores quanto à qualidade e rotulagem.
	Resolução ANP nº 669/2017	Especificações dos óleos básicos e suas regras de comercialização.

3.1.2 Infraestrutura nacional de produção

Em um país de dimensões continentais como o Brasil, a decisão sobre a instalação de capacidade produtiva costuma dar bastante relevância aos custos de transporte, seja (i) dos insumos até o local de produção; seja (ii) dos produtos acabados do local de produção até o cliente (AYRES, 2009).

A instalação de infraestrutura de produção de óleo lubrificante acabado deve observar, de um lado, a oferta de óleo lubrificante básico, o principal insumo, e de outro a proximidade com o mercado consumidor.

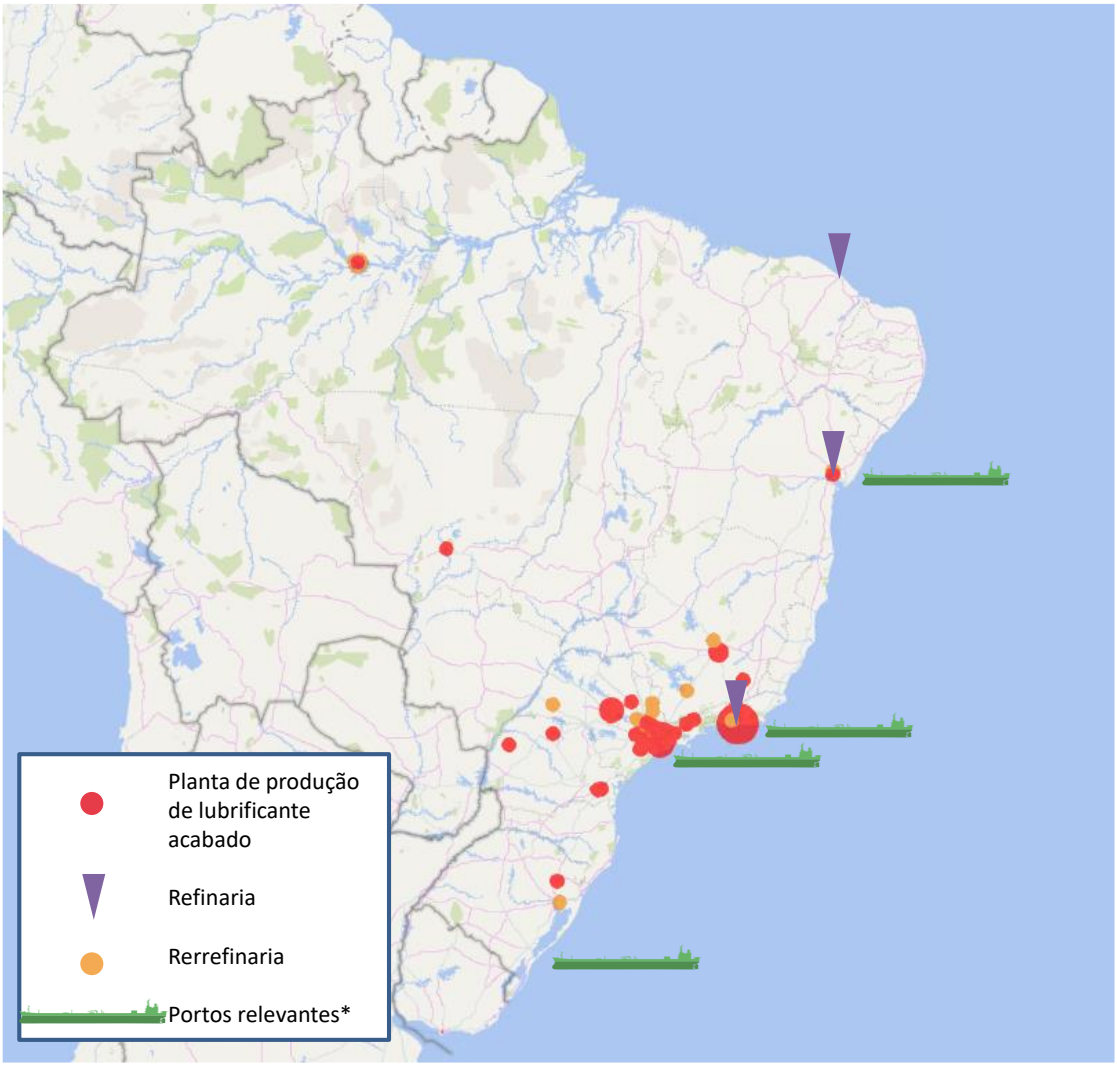
Do lado do fornecimento de matéria prima, há no Brasil 3 refinarias que produzem lubrificantes: (i) REDUC, em Duque de Caxias-RJ; (ii) RLAM, em São Francisco do Conde-BA; e (iii) LUBNOR, em Fortaleza-CE, sendo que essa última é especializada na produção de óleos básicos naftênicos. O produto das refinarias pode ser escoado para os produtores de óleo lubrificante acabado por meio de dutos, ou pelo modal rodoviário em caminhões tanque, ou por meio de navegação de cabotagem até um porto mais próximo e de lá através do modal rodoviário.

A capacidade produtiva nacional é acrescida com a presença de 14 rerrefinarias, que transformam OLUC em óleo básico. Destaque deve ser dado à rerrefinaria de Lençóis Paulistas-SP, que é a única planta que produz lubrificantes básicos do grupo II. Dada a escala das rerrefinarias, menor se comparada à das refinarias, o óleo básico rerrefinado é entregue preponderantemente no modal rodoviário.

A demanda brasileira de lubrificantes básicos é complementada por produto de importação, que chega ao país principalmente pelos portos localizados no Rio de Janeiro-RJ, Santos-SP, Salvador-BA e Rio Grande-RS.

Os produtores de lubrificantes não estão homogeneamente distribuídos ao longo do território brasileiro. Na verdade, há uma grande concentração de instalações no estado de São Paulo, com o Rio de Janeiro em segundo lugar, conforme mostrado na figura 8. Das 65 instalações autorizadas pela ANP, 42 estão em São Paulo, 11 no Rio de Janeiro, 4 em Minas Gerais e no Paraná, e uma na Bahia, Rio Grande do Sul, Amazonas e Mato Grosso (BRASIL, 2018a).

FIGURA 8 MAPA DA INFRAESTRUTURA DE PRODUÇÃO DE ÓLEO LUBRIFICANTE
FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA COM DADOS DE BRASIL (2018A) E ALICEWEB/MIDC. SITUAÇÃO EM JANEIRO DE 2018.



* Os quatro portos destacados (Salvador, Rio de Janeiro, Santos e Rio Grande) concentram mais de 90% das importações de lubrificantes sem aditivos, de acordo com os dados do AliceWeb/MIDC (2016)

É importante esclarecer que há mais empresas autorizadas como produtores (o número varia em torno de 100, a depender de novas autorizações e revogações) do que plantas de produção (que são 65 autorizadas em todo o Brasil). Isso ocorre porque é permitido que um produtor estabeleça contrato para que outro produtor, com capacidade ociosa, produza seus lubrificantes.

A regulação vigente (BRASIL, 2009c) estabelece uma infraestrutura mínima para a produção de óleo lubrificante acabado. Os requisitos são diferentes para produção de óleo lubrificante para fins automotivos em comparação com aqueles de finalidade industrial.

O Produtor de óleo lubrificante acabado para fins **automotivos** deve ter:

a) Instalação de produção com tancagem mínima de *120 m³ (cento e vinte metros cúbicos)*;
b) Laboratório próprio para controle de qualidade dos óleos lubrificantes acabados dotado de equipamentos compatíveis pelo menos com os seguintes ensaios: cor, viscosidade cinemática a 40ºC, viscosidade cinemática a 100ºC, densidade, ponto de fulgor, ponto de fluidez, teor de elementos, TBN e corrosão em lâmina de cobre.
c) Capital social integralizado de, no mínimo, *R$ 300.000,00 (trezentos mil reais)*.

O Produtor de óleo lubrificante acabado para fins **industriais** deve ter:

a) Instalação de produção com tancagem mínima de *80 m³ (oitenta metros cúbicos)*;
b) Laboratório próprio para controle de qualidade dos óleos lubrificantes acabados dotado de equipamentos compatíveis pelo menos com os seguintes ensaios: cor, viscosidade cinemática a 40ºC, viscosidade cinemática a 100ºC, densidade, ponto de fulgor, ponto de fluidez, teor de elementos, *TAN*, corrosão em lâmina de cobre e *demulsibilidade*;
c) Capital social integralizado de, no mínimo, *R$ 200.000,00 (duzentos mil reais)*.

No caso de um produtor que produzirá ambos os tipos de lubrificantes, adotam-se os requisitos mais restritivos. No geral, os requisitos mínimos para produção de lubrificantes automotivos são os mais restritivos. As instalações desse tipo devem ser maiores e a empresa deve ter 50% mais capital social.

3.2 VENDAS INTERNAS DE ÓLEO LUBRIFICANTE ACABADO

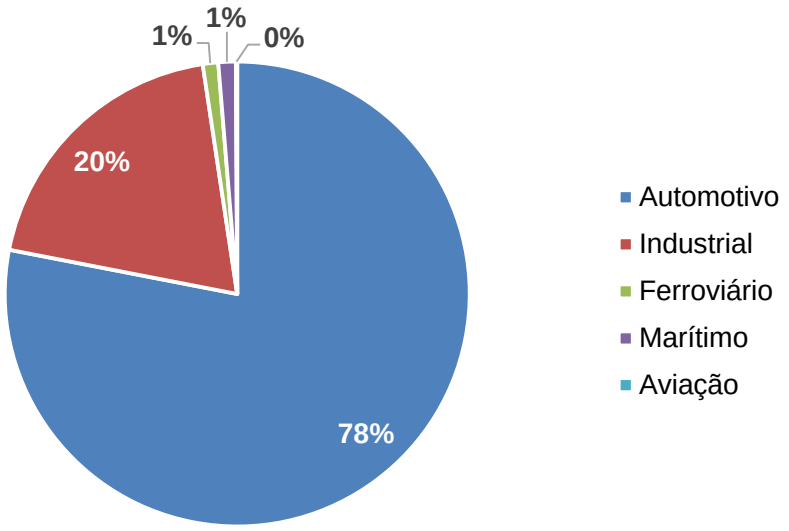
No ano de 2017 foram comercializados **1.276.000 m³** de óleo lubrificante acabado (BRASIL, 2018a), frente a 1.208.000 m³ em 2016 (BRASIL, 2017a), um crescimento de 6,28%. Parte desse crescimento pode ser explicada pela retomada do crescimento brasileiro, após a recente crise que teve seu pior momento no ano de 2016 (IBGE, 2018). Considerando a população brasileira em 2017, estimada em 208

milhões de habitantes (IBGE, 2017), nesse ano o consumo de lubrificantes per capita foi da ordem de **6,1 litros/habitante**.

O trabalho de PETRICORENA (2005) dedica grande atenção a compilar e discutir os dados sobre o mercado de lubricantes acabados. Passados mais de doze anos de sua publicação, cabe revisitar e atualizar os principais números e verificar se as tendências apontadas se concretizaram.

Como apontava aquele trabalho, os óleos lubrificantes automotivos responderam por 60% do mercado em 2003, seguidos pelos óleos industriais com 31%. Os lubrificantes automotivos seguem sendo os de maior relevância no mercado brasileiro, e responderam em 2017 por 78 % do mercado, considerando, além dos óleos para motores, também os óleos de transmissão e sistemas hidráulicos (gráfico 3). Dessa forma, qualquer análise com base volumétrica é bastante influenciada por essa fatia de mercado.

GRÁFICO 3 DISTRIBUIÇÃO DO MERCADO NACIONAL DE LUBRIFICANTES ACABADOS POR APLICAÇÃO, EM 2017.
FONTE: ELABORAÇAÕ PRÓPRIA A PARTIR DE DADOS DE (BRASIL, 2018A)



* Automotivo inclui transmissões e sistemas hidráulicos
* Industrial inclui engrenagens, sistemas circulatórios e isolamento

Em 2003, o mercado aparente de lubrificantes foi apurado em 1.010.090 m³ (PETRICORENA, 2005). Comparado com o volume de 2017, houve um crescimento de 26% no período, que representa uma taxa média de crescimento de 1,69% ao ano nesses 14 anos. No mesmo período, o PIB real brasileiro cresceu em média 3,51% ao ano (BANCO MUNDIAL, 2018). Esse crescimento volumétrico do mercado de

lubrificantes inferior ao desempenho geral da economia pode ser devido, entre outros fatores, à própria alteração tecnológica em curso no mercado, em especial nas aplicações automotivas, que exigem cada vez mais lubrificantes que suportam maior carga com maior intervalo entre as trocas (NAGENDRAMMA; KAUL, 2012).

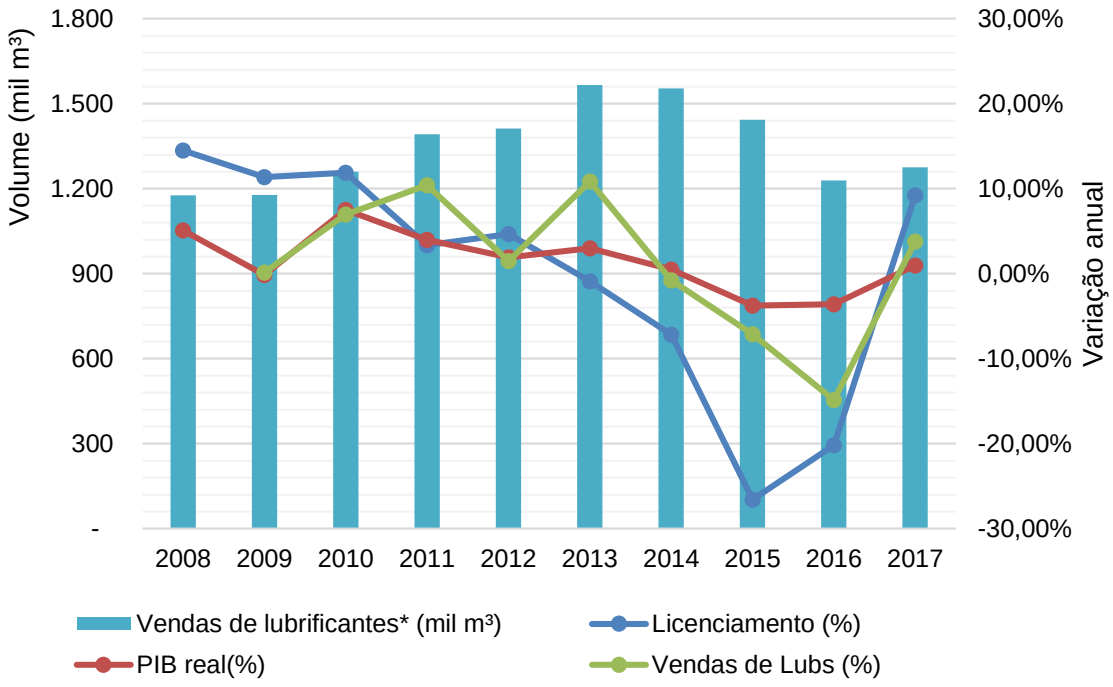
De fato, à medida que a indústria avança no século XXI, fica claro que os fabricantes de equipamentos, os consumidores e as agências reguladoras continuarão a demandar cada vez mais das características de desempenho exigidas dos lubrificantes. Espera-se que as demandas depositadas sobre os lubrificantes continuem a aumentar juntamente com a severidade das condições operacionais. Embora os detalhes específicos e as taxas de mudança sejam diferentes para várias aplicações, altas cargas, velocidades e aumento dos intervalos de troca são tendências quase universais. Em alguns casos, o conceito de "*fill for life*" (*enchimento pela vida toda*, em tradução livre) foi expandido e, de fato, em algumas aplicações isso foi conseguido através do uso de lubrificantes sintéticos para o enchimento inicial do equipamento (NAGENDRAMMA; KAUL, 2012).

Efetivamente, desde 1975, no mundo todo se observa um descolamento entre o mercado de lubrificantes e o produto nacional bruto e também o número de veículos registrados. Essa visão quantitativa, que à primeira vista mostra um declínio contínuo nos volumes de lubrificantes, dá uma impressão inadequada da importância do negócio de lubrificantes hoje. Em quase todas as áreas, os produtos agora têm uma vida mais longa e oferecem maior desempenho, ou seja, o consumo específico de lubrificante diminuiu, mas as receitas específicas aumentaram consideravelmente (MANG; GOSALIA, 2017).

Mesmo que não sigam estritamente juntos, o desempenho do mercado de lubrificantes brasileiro apresenta correlação com o desempenho do mercado automotivo. Para fins de comparação, são apresentadas, no gráfico 4, a evolução nos últimos dez anos da comercialização de lubrificantes e a variação anual (i) do número de licenciamentos de veículos, (ii) do PIB real e (iii) do próprio volume de comercialização de lubrificantes. É importante notar que o período de menor atividade na economia no ano de 2009 não foi tão sentido com intensidade no mercado de licenciamento de veículos, mas esteve relacionado com uma estagnação no mercado de lubrificantes. O número de licenciamentos de veículos veio desacelerando desde então e, em 2013, apresentou retração de 0,9%. No ano seguinte, foi a vez do

mercado de lubrificantes apresentar retração de 0,8%, quando o PIB cresceu apenas 0,5%. Em 2014, o país aprofundou a crise e entrou em recessão, com PIB negativo, redução de mais de 25% no licenciamento de veículos e agravamento da retração no mercado de lubrificantes. O ano de 2017 foi um ano de retomada de todos os índices, que fecharam positivos.

GRÁFICO 4 COMERCIALIZAÇÃO APARENTE DE ÓLEO LUBRIFICANTE ACABADO E VARIAÇÃO ANUAL DO NÚMERO DE LICENCIAMENTO DE VEÍCULOS E DO PIB REAL, ENTRE 2008 E 2013, NO BRASIL.
FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA COM DADOS DE (ANP (2017A); ANFAVEA, 2018; BANCO MUNDIAL, 2018; BRASIL (2017A);2018A))



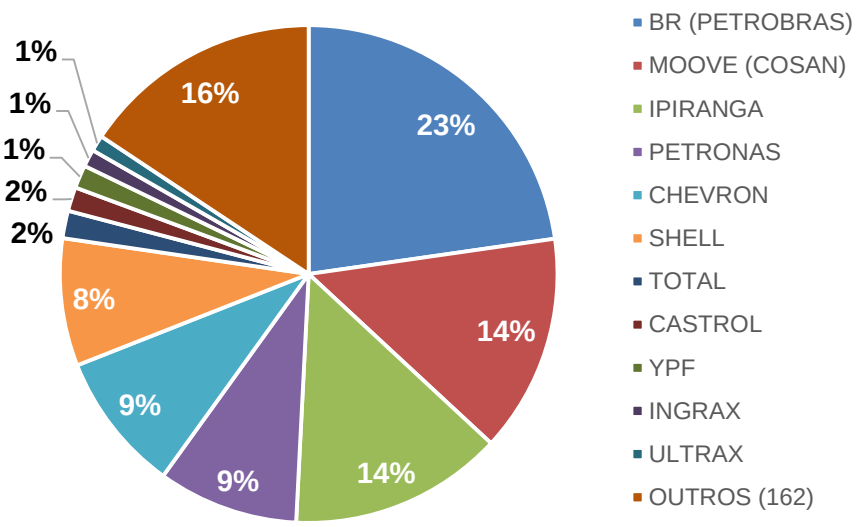
* O volume de comercialização de cada ano foi apurado com base nos meses de outubro do ano anterior até setembro do ano de referência, de acordo com o ano base para cálculo da meta de coleta de OLUC

Na verdade, mesmo com a tendência de redução no uso de lubrificantes em cada veículo, com uma retomada do crescimento da economia é possível que o volume de mercado de lubrificante ainda cresça significativamente, acompanhando a tendência de crescimento no número de automóveis. Há alguns anos a razão habitante por veículo do Brasil se situava em torno de 6, bem acima da razão observada nos países desenvolvidos (em torno de 1,5) e, também, maior do que a observada em países como México (3,6) e Argentina (4,5). Essa estatística evidencia o potencial do mercado automobilístico brasileiro (BNDES, 2012) e, por consequência, do mercado de lubrificantes.

3.2.1 Participações de mercado e índices de concentração

Com relação à estruturação competitiva do mercado de lubrificantes, o panorama geral mudou pouco nos últimos 15 anos em relação ao observado por PETRICORENA (2005). O setor continua com 4 empresas sendo responsáveis pelos mesmos 60% do mercado em 2017, percentual igual ao observado em 2003. No outro extremo, há 162 empresas que respondem individualmente por menos de 1% do mercado. Esse panorama está ilustrado no gráfico 5.

GRÁFICO 5 PERCENTUAL DE MERCADO DOS FORNECEDORES DE ÓLEO LUBRIFICANTE ACABADO EM 2017 NO BRASIL.
FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA COM DADOS DE BRASIL (2018A)



* Dados apenas das companhias que declararam comercialização à ANP em 2017.
* IPIRANGA contempla dados da Ipiranga Produtos de Petróleo SA e da Ipiranga Lubrificantes LTDA, descontada a venda de ativos na transição entre as duas companhias.

Nota-se que as nove empresas associadas à Plural, associação antigamente chamada Sindicom, respondem por cerca de 82% do mercado. São essas as empresas associadas:

- Petrobras Distribuidora S.A. (BR)
- Ipiranga Lubrificantes S.A.
- Cosan Lubrificantes e Especialidades S.A. (Moove)
- Petronas Lubrificantes S.A.
- Chevron Brasil Lubrificantes S/A
- Shell Brasil Petróleo Ltda.

- Total Lubrificantes do Brasil Ltda.
- Castrol Brasil Ltda
- Ypf Brasil Comércio de Derivados de Petróleo Ltda

Dentre essas nove empresas, apenas Petrobras Distribuidora, Ipiranga Lubrificantes e Cosan (Moove) são controladas por capital nacional. As demais são braços de grandes companhias homônimas de petróleo e energia do resto do mundo. Apenas a Castrol sustenta um nome diferente da sua controladora, a BP (antiga *British Petroleum*). Recentemente foi anunciada a formação de uma *joint venture* entre Ipiranga e Chevron no mercado de lubrificantes, que passará a responder pela marca ICONIC (ORDOÑEZ, 2018). Juntas, as duas companhias responderiam por 23% do mercado de lubrificantes acabados, tecnicamente empatadas com a BR.

Uma variável que se propõe a mensurar o grau de concentração de um mercado é o Índice de Herfindahl–Hirschman (IHH). É uma medida estatística utilizada pelos órgãos de defesa da concorrência para analisar o resultado de fusões e aquisições horizontais. Seu valor é definido como a soma dos quadrados das quotas de mercado das empresas que compõem o ramo de atividade em que as quotas de mercado são expressas em pontos percentuais (RHOADES, 1993), ou seja:

$$IHH = \sum_{i=1}^{N} q_i^2$$

onde N é o número de empresas do mercado e q_i é a parcela do mercado ocupada por uma empresa i.

No caso de os valores das quotas serem expressas em pontos percentuais (de 0 a 100), o valor de IHH pode ser igual a 10.000, no caso de uma empresa monopolista, ou tender a zero, em um mercado com concorrência perfeita, onde há inúmeras empresas, cada uma com participação muito pequena.

Em geral, os mercados podem ser assim classificados (USDJ & FTC, 2010):

- IHH abaixo de 1.500: indica um setor pouco concentrado.
- IHH entre 1.500 e 2.500: indica uma concentração moderada.
- IHH acima de 2.500: indica uma elevada concentração

A partir dos dados publicados pela ANP (BRASIL, 2018a), foi possível calcular o IHH para o mercado de lubrificantes, no ano de 2017, como segue no quadro 2 a seguir:

QUADRO 2 ÍNDICE DE CONCENTRAÇÃO DO MERCADO DE LUBRIFICANTES ACABADOS EM 2017.
FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA A PARTIR DE DADOS DE (BRASIL, 2018A)

Mercado	Nº de agentes em operação*	IHH	Indicativo
Fornecedores de óleo lubrificante acabado	173	1.163	mercado pouco concentrado

* Número de produtores e importadores que declararam comercialização à ANP em 2017.
A participação da Ipiranga Produtos de Petróleo SA e da Ipiranga Lubrificantes LTDA foi considerada em conjunto, descontada a venda de ativos na transição entre as duas companhias.

O valor de IHH de 1163, menor que 1500, indica que esse é um mercado com relativamente pouca concentração. De fato, mesmo que haja um grupo de 6 empresas com mais de três quartos do mercado, há um número expressivo de empresas competindo e, dentre as líderes de mercado, nenhuma desponta com grande proeminência. A *joint venture* anunciada por Ipiranga e Chevron aumentaria o IHH calculado para 1416, um aumento de 252 pontos, o que deve chamar a atenção dos órgãos de defesa da concorrência, mas que ainda assim manteria o IHH abaixo de 1500 – um indicativo de que esse setor continuaria pouco concentrado.

A partir dos dados compilados por Petricorena (2005), é possível estimar o IHH para o ano de 1996 em 1.626 pontos. Se esse resultado for comparado com o do ano de 2017, é possível notar que houve certa diminuição dos níveis de concentração do mercado, que se mantêm baixos passados 20 anos da liberalização das importações ocorrida em 1997 e relatada naquele trabalho.

Para efeito de comparação, foi produzido o quadro 3 com a compilação do IHH para outros mercados relacionados com derivados de petróleo e combustíveis.

QUADRO 3 COMPARAÇÃO DO NÍVEL DE CONCENTRAÇÃO EM MERCADOS BRASILEIROS DE DERIVADOS DE PETRÓLEO DE PETRÓLEO E BIOCOMBUSTÍVEIS.

Mercado	Ano	Nº de agentes em operação*	IHH	Referência
Transportador Revendedor Retalhista (TRR)	2015	387	113	(PINHEIRO, 2016)
Produção de biodiesel	2015	41	422	(MOREIRA et al., 2016)
Fornecedores de óleo lubrificante acabado	2017	173	1.163	Elaboração própria a partir de dados de(BRASIL, 2018a)
Distribuição de Solventes	2015	16	2.305	(MOREIRA; DUQUE, 2016)
Produção de Solventes	2015	7	3.806	(MOREIRA; DUQUE, 2016)
Refino de petróleo	2017	4	9.731	Elaboração própria a partir de dados de (ANP, 2018)

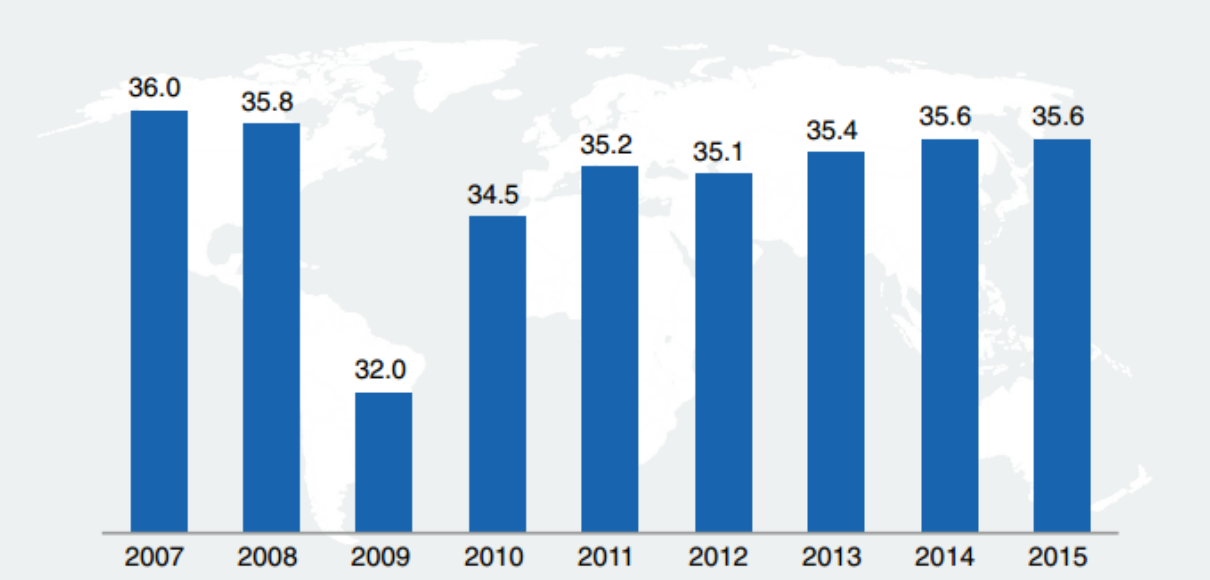
O refino de petróleo no Brasil é um monopólio de fato, com IHH se aproximando do limite teórico de 10.000. Esse monopólio perdura mesmo após as mudanças legislativas promovidas na década de 1990 para liberalizar o mercado. Num outro extremo, estão mercados menos concentrados nacionalmente, como a produção de biodiesel e a atividade de transportador-revendedor-retalhista, que têm número muito maior de empresas, as quais são voltadas para atuação regionalizada.

O mercado de lubrificantes acabados se situa em uma posição intermediária, com número considerável de empresas, várias delas com atuação nacional, mas o que não impede que haja competitividade mesmo com taxa de crescimento anual médio, em base volumétrica, menor que 2%.

3.3 MERCADO INTERNACIONAL E COMÉRCIO EXTERIOR

Na virada do milênio, o volume global do mercado de lubrificantes (sem óleos marítimos) foi contabilizado em torno de 36 milhões de toneladas, e se manteve mais ou menos estável até 2008. Então a demanda de lubrificantes em todo o mundo despencou para apenas cerca de 32 milhões de toneladas em 2009, uma queda de mais de 10% nesse ano, que foi marcado por uma crise global no sistema financeiro. Desde 2010, o consumo do mercado mundial mostrou uma recuperação parcial diante do rápido crescimento econômico inesperado, para quase atingir novamente o nível de **36 milhões de toneladas em 2015**. Assim, vistos apenas os anos extremos, pode-se pensar que não aconteceu muita coisa no mercado entre 2007 e 2015 (gráfico 6). Em uma base per capita, considerando a população mundial estimada em 7,38 bilhões de pessoas em 2015 (ONU, 2017), o consumo seria de 4,82 kg/habitante, ou algo em torno de **5,1 litros/habitante** (considerando densidade de 0,94 kg/L (GRIFFIN, 1925)), cerca de 1 litro/habitante abaixo da média brasileira, apontada na seção 3.2.

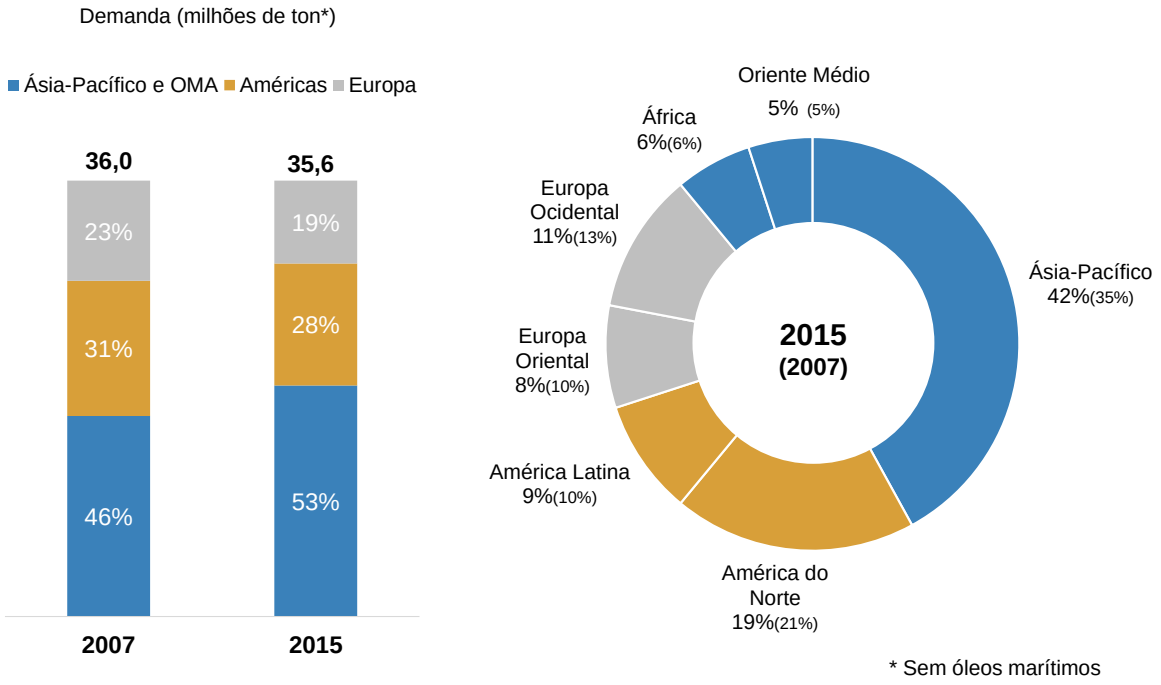
GRÁFICO 6 EVOLUÇÃO DA DEMANDA MUNDIAL DE LUBRIFICANTES, EM MILHÕES DE TONELADAS.
FONTE: MANG E GOSALIA (2017)



*Valores em milhões de toneladas
* Sem óleos marítimos

Apesar de tudo isso, a dinâmica subjacente dos mercados regionais de lubrificantes nos últimos 15 anos foi enorme em termos de quantidade e qualidade. A região da Ásia-Pacífico, juntamente com a África e o Oriente Médio, representava um pouco mais do que um terço do volume global em 2000 e agora produz mais da metade, como resultado da crescente industrialização e motorização e, conseqüentemente, maior consumo. Os mercados maduros da Europa Ocidental e da América do Norte experimentaram um movimento contínuo para lubrificantes de maior qualidade, o que resultou em intervalos estendidos de troca de óleo e consequentemente menor demanda por ano. A Ásia-Pacífico consome hoje o dobro da quantidade de lubrificantes por ano do que a América do Norte (gráfico 7). O mercado chinês, por exemplo, caminha para produzir classificações de desempenho próprias, tendo em vista sua indústria já desenvolvida de motores a combustão interna (PORTAL LUBES, 2018a).

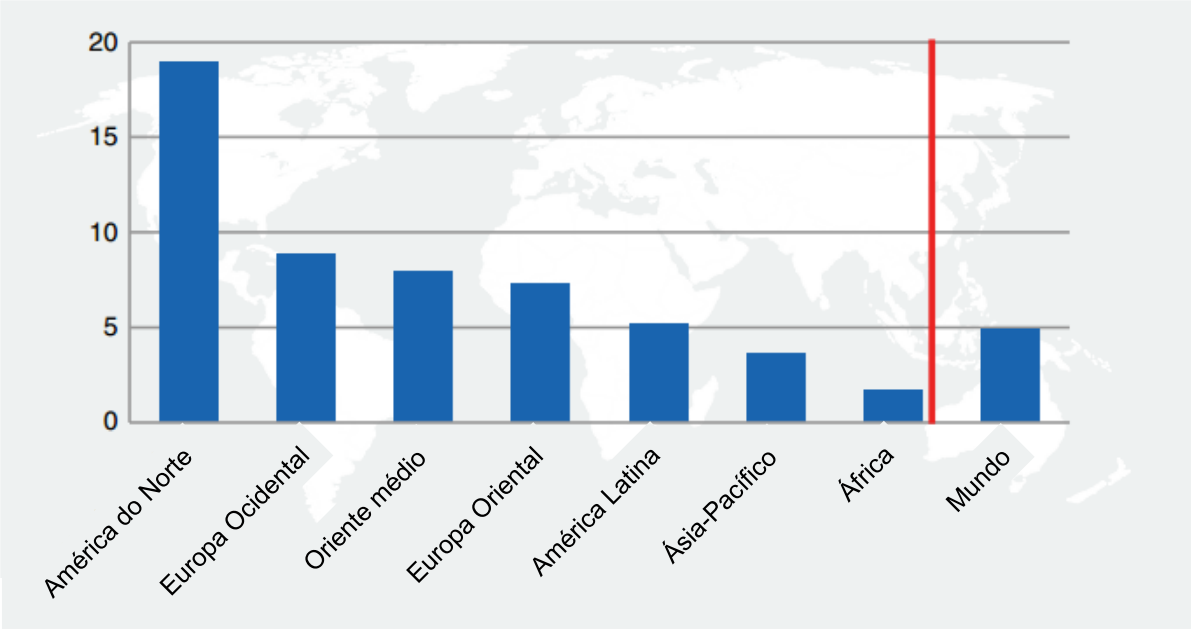
GRÁFICO 7 EVOLUÇÃO DA DEMANDA MUNDIAL DE LUBRIFICANTES, POR REGIÃO. FONTE:MANG E GOSALIA (2017)



Como já comentado na seção 3.2, há várias décadas se observa o descolamento entre o mercado de lubrificantes e o produto nacional bruto/número de veículos registrados, devido ao aumento dos requisitos de durabilidade. Os esforços para aumentar a vida útil dos lubrificantes não se baseiam no desejo de reduzir os custos dos lubrificantes. Muito mais importante é a redução dos custos de serviço e manutenção, que resultam da troca periódica ou re-lubrificação do óleo. Dessa forma, mesmo com taxas menores de crescimento volumétrico, o mercado aumenta em receita específica.

Uma consequência desses desenvolvimentos foi que o consumo per capita global diminuiu de cerca de 9 para 5 kg por ano entre 1970 e 2015, isto é, o aumento da demanda de lubrificante (+ 7%) não acompanhou o crescimento mundial da população (+ 90%) durante este período; Em outras palavras, a taxa de crescimento anual composta (cuja sigla do inglês é CAGR - *compounded annual growth rate*) da população mundial entre 1970 e 2015 foi de 1,6%, 10 vezes maior do que a taxa CAGR da demanda global de lubrificantes, que chegou a apenas 0,16% neste período (gráfico 8).

GRÁFICO 8 DEMANDA REGIONAL PER-CAPITA DE LUBRIFICANTES EM 2015 (kg). FONTE: MANG E GOSALIA (2017)



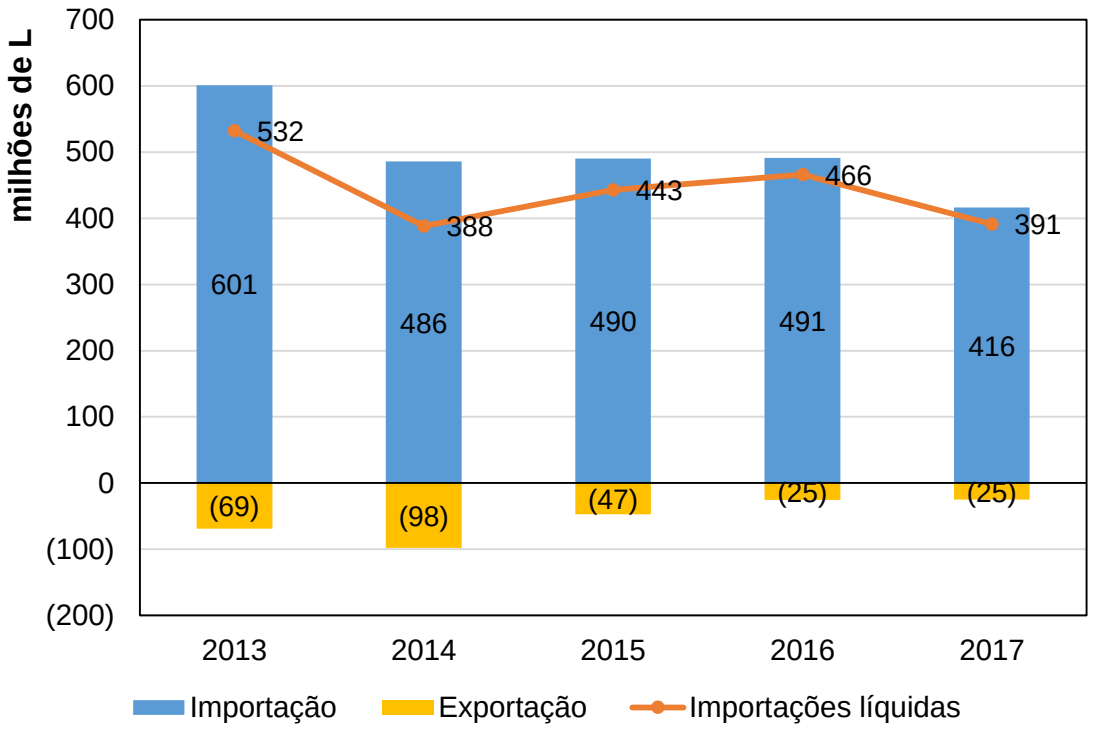
Tendo em mente o potencial de crescimento na Ásia, onde o consumo per capita em algumas áreas ainda é extremamente baixo (por exemplo 1 kg/hab na Índia em 2015) e uma redução contínua ou estagnação dos volumes nos países industrializados ocidentais, prevê-se um crescimento global modesto. O crescimento em valor será mais acentuado, porque a rápida globalização das tecnologias promoverá produtos de alto valor agregado, mesmo nos mercados de lubrificantes em desenvolvimento e emergentes, como a Índia e o Brasil, em que as máquinas e plantas industriais tendem a ficar cada vez mais semelhantes ou idênticas àquelas usadas nos países desenvolvidos (MANG; GOSALIA, 2017).

Considerando o mercado brasileiro estimado em 1,44 bilhões de litros em 2015 (ver gráfico 4), ou 1,36 milhões de toneladas (considerando densidade de 0,94 kg/L (GRIFFIN, 1925)), naquele ano o país representou 3,8 % da demanda global, estimada em 35,6 milhões de toneladas. Isso demonstra um crescimento em participação durante esse início de século, considerando a estimativa de 3,06% em 2003 (PETRICORENA, 2005).

Estimativas do histórico recente de comércio exterior brasileiro de óleos lubrificantes básicos apontam a permanente dependência externa do país (gráfico 9). A aparente diminuição das importações líquidas de 2013 para 2014 pode ser atribuída principalmente à diminuição do mercado nacional de óleo lubrificantes acabados como

mostrado na seção 3.2. Cabe destacar que, nesse período, não houve ampliação da capacidade produtiva no primeiro refino, e apenas alterações marginais na capacidade de rerrefino de óleo usado. Assim, a menos que avance o rendimento da logística reversa nacional, o país tende a permanecer ou ampliar a dependência externa de lubrificantes.

GRÁFICO 9 EVOLUÇÃO DO COMÉRCIO EXTERIOR BRASILEIRO DE ÓLEOS LUBRIFICANTES BÁSICOS
FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA A PARTIR DE DADOS DE (BELMIRO, P. N., 2014; PORTAL LUBES, 2018B)

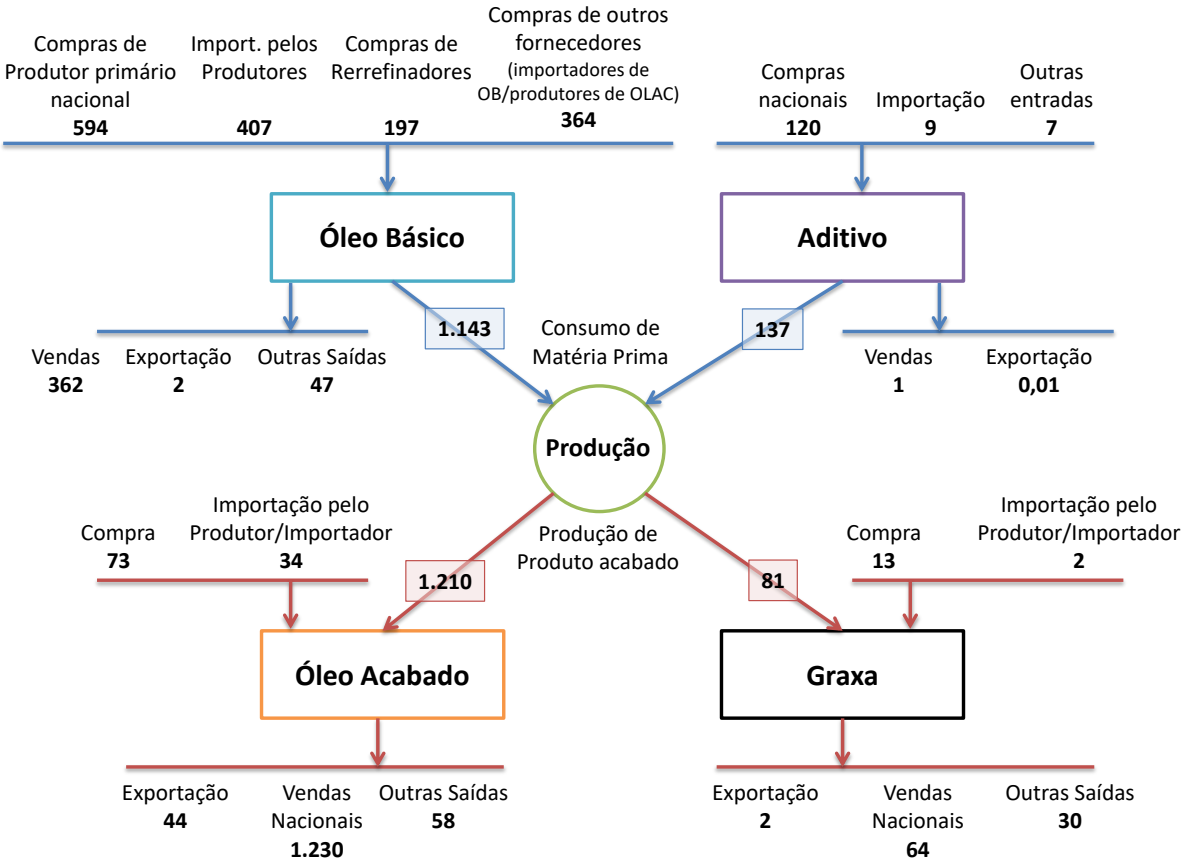


3.4 BALANÇO VOLUMÉTRICO NACIONAL (DUQUE ET AL., 2017)

A partir dos dados compilados de publicações da ANP (BRASIL, 2017a; DUQUE et al., 2017) e das próprias declarações dos produtores e importadores de óleo lubrificante acabado através do sistema Simp, foi possível observar a magnitude dos principais fluxos de aquisição de insumos (óleos básicos e aditivos), bem como observar as principais destinações dessas matérias-primas (produção de óleo acabado e graxas). Essa compilação de informações deu origem à figura 9, que será discutida nessa seção. Os resultados obtidos nessa seção foram brevemente apresentados na publicação referenciada no título. Dados originais de importação

foram também compilados para complementar a análise. O objetivo aqui é contextualizar esses resultados e aprofundar a discussão em alguns tópicos.

FIGURA 9 BALANÇO VOLUMÉTRICO DO MERCADO BRASILEIRO DE LUBRIFICANTES ACABADOS E GRAXAS NO ANO DE 2016.
FONTE: ADAPTADO DE DUQUE ET AL. (2017)



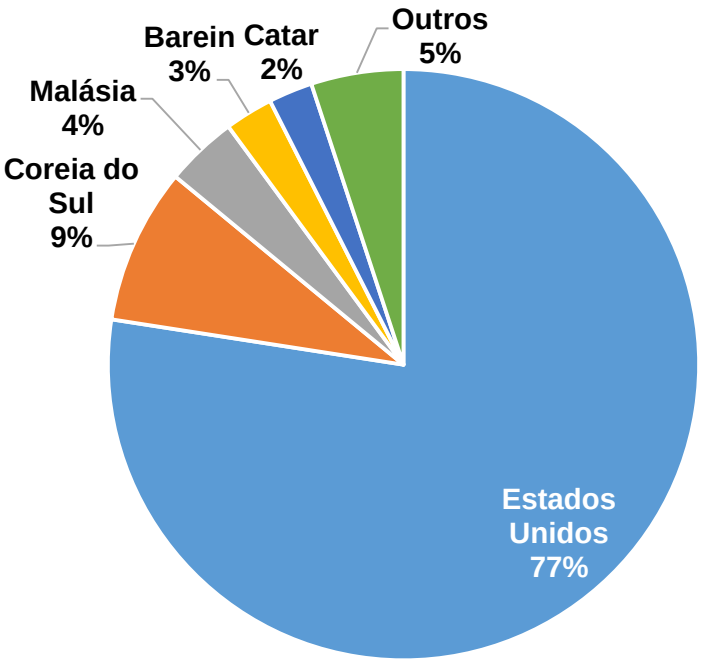
* Volumes em milhões de litros/ano

Em 2016, os produtores de lubrificantes acabados adquiriram 594 milhões de litros de óleos básicos das refinarias brasileiras (52% do volume consumido na produção de lubrificantes acabados e graxas) e 197 milhões de litros de óleo básico rerrefinado (17% do consumo). O restante da demanda é complementado por importações, que podem ser realizadas tanto pelos próprios produtores (407 milhões de litros – 36% do volume consumido em 2016) quanto por terceiros. Além disso, os produtores podem comercializar óleo básico entre si. Esse é o caso de grandes grupos internacionais, como Petronas, Shell, Chevron, etc. que detêm refinarias em outros países e importam e distribuem óleo básico importado no Brasil.

Esses resultados indicam um razoável grau de dependência externa de lubrificantes. Também indicam a escolha dos agentes pela importação da matéria prima, em detrimento da importação do produto acabado - 407 milhões contra 34 milhões de litros. Essa escolha talvez se justifique pelas economias de escala da importação de maiores volumes de óleo básico, que pode ser usado para um grande número de formulações de lubrificantes acabados. Seria menos econômico e logisticamente mais complicado importar todos os tipos de formulações acabadas produzidas em uma planta de produção no exterior.

A fim de identificar o país de origem do óleo básico que chega ao Brasil, foi realizada consulta ao sistema chamado AliceWeb, que é a base de dados aberta de importação/exportação do Ministério de Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC). Foram compiladas as importações classificadas sob o NCM *27101931 - Óleos lubrificantes sem aditivos*, no ano de 2016. O volume total importado foi de 442,2 mil toneladas. Considerando uma densidade de 0,94 kg/L (GRIFFIN, 1925), chega-se ao volume total importado de 470 milhões de litros. O principal país fornecedor de óleos básicos para o Brasil são os Estados Unidos, com 364 milhões de litros, ou 77% do total. Muito desse óleo básico vem do golfo do México, região conhecida por ser um grande *hub* de comércio de petróleo e derivado. O *share* por país de origem do óleo básico é apresentado no gráfico 10.

GRÁFICO 10 DIVISÃO DAS IMPORTAÇÕES BRASILEIRAS DE LUBRIFICANTES BÁSICOS POR PAÍS DE ORIGEM, EM 2016.
FONTE: ELABORAÇÃO PRÓPRIA COM DADOS DO SISTEMA ALICEWEB (MDIC,2018)



*Importações de Óleos lubrificantes sem aditivos (NCM 27101931) por país de origem em 2016

Uma parte fundamental da atividade do formulador de óleos lubrificantes acabados consiste em selecionar e misturar os óleos básicos com aditivos específicos, a fim de chegar às especificações de desempenho do produto final. No ano de 2016, os produtores adquiriram 120 milhões de litros de aditivos de fornecedores nacionais e mais 9 milhões de litros via importação direta (figura 9).

No sistema Simp, os produtores declaram mensalmente à ANP o montante de matérias-primas utilizadas na formulação de lubrificantes acabados e graxas, bem como o volume efetivamente produzido. Em alguns casos, produtos finais podem ser reprocessados internamente. Em outros casos, aditivos primários podem ser misturados e diluídos com óleos básicos para produção de aditivos diluídos, os quais serão mais tarde utilizados para a formulação do produto final. Para o presente trabalho, na etapa de produção, foi adotada a convenção de apurar apenas o valor anual líquido entre consumo e produção de cada grupo de materiais.

No ano de 2016, foram consumidos 1,14 bilhões de litros de óleos básicos e 137 milhões de litros de aditivos pelos produtores nacionais de óleo lubrificantes. Isso representa um valor aproximado de [137/(1.143+137)] x 100% = **10,7% de aditivos** misturados aos óleos básicos, em base volumétrica. No mesmo ano foram produzidos 1,21 bilhão de litros de óleos lubrificantes acabados e 81 milhões de litros de graxas.

O acompanhamento do nível de aditivação é importante já que a aditivação insuficiente, menor que a prevista na formulação original aprovada, pode trazer riscos ao desempenho do lubrificante em serviço e, consequentemente, ao desempenho do maquinário. Nesse ponto, o valor médio apurado através do Simp está de acordo com o apontado pela literatura, que aponta que, em média, os lubrificantes consistem em cerca de 90% de óleos de base e 10% de aditivos químicos e outros componentes em uma base de volume, enquanto que em uma base de valor a respectiva proporção é estimada em torno de 80:20 (MANG; GOSALIA, 2017).

O nível de aditivação também é um fator a ser considerado no reaproveitamento do OLUC, já que a presença de compostos remanescentes dos aditivos (fenóis, compostos de zinco, cloro e fósforo) conferem-lhe toxicidade (FUENTES et al., 2007).

O mercado de óleo lubrificante acabado contabilizou vendas nacionais realizadas pelos produtores e importadores autorizados num montante de 1,23 bilhões de litros (incluindo vendas entre congêneres). Foi observado ainda um saldo de exportações menos importações igual a (44 - 34) = 10 milhões de litros de lubrificantes acabados.

A comercialização de graxas complementa a receita dos produtores/importadores de lubrificantes acabados. O exercício das atividades de produção, importação ou comercialização de graxas não exige autorização prévia da empresa junto à ANP - apenas os produtos devem ser registrados. Apesar disso, os produtores/importadores de lubrificantes acabados, ao reportarem suas movimentações, informam também as operações que envolvem graxas. Dessa forma, os volumes de graxas aqui apresentados não representam todo o mercado, mas servem como um indicativo do mercado total, já que ambos os mercados – de óleos lubrificantes acabados e de graxas – têm grandes *players* em comum.

Tudo isso considerado, o volume consolidado de vendas nacionais de graxas (pelos produtores/importadores de óleo lubrificante acabado) foi estimado na casa de

64 milhões de litros (incluindo vendas entre congêneres). Também foi apurado um volume total de exportação de 2 milhões de litros, praticamente equivalente ao volume total de importações.

3.5 PERSPECTIVAS

As pressões mundiais pelas diminuições dos níveis de emissões de gases de efeito estufa, reforçadas pelo Acordo de Paris assinado durante a 21ª Conferência das Partes (COP21) da UNFCCC, têm sido um grande direcionador das políticas públicas, que exigem respostas da indústria. Os fabricantes de automóveis, lubrificantes e aditivos tendem a continuar elevando os requisitos de eficiência dos motores, exigindo cada vez melhores níveis de desempenho nas formulações de lubrificantes. Nesse sentido, deve-se continuar observando a migração da demanda de óleos básicos do grupo I para aqueles dos grupos II e III.

O mercado brasileiro ainda apresenta a peculiaridade de contar com uma parcela crescente de biocombustíveis em sua matriz de combustíveis, parcela essa que atualmente é maior que 20% (ANP, 2017b). A legislação tem previsto regularmente a entrada de teores cada vez maiores de mistura de biodiesel ao diesel mineral (BRASIL, 2014a), sendo que o teor vigente de mistura obrigatória é de 10%. A presença do biodiesel em grandes teores de mistura, comprovadamente aumenta a diluição desse biocombustível no lubrificante do cárter, com possíveis problemas de aceleração da sua oxidação (CAMPELLO, 2014; DUGMORE; STARK, 2014; HAMDAN et al., 2017). Esse fator tem chamado a atenção dos formuladores e fornecedores de aditivos no mercado brasileiro (BASAR, 2016; TEIXEIRA, 2016), e a superação desses desafios pode exigir, nos próximos anos, o desenvolvimento de lubrificantes específicos para o mercado brasileiro, para uso em motores diesel com alto teor de biodiesel.

Finalmente, há que se destacar que as expectativas depositadas na Petrobras, para que adaptasse seu parque de refino à produção de óleos básicos grupo II e III, dificilmente se concretizarão nos próximos anos. Conforme explicitado no seu plano de negócios 2017-2021, a empresa propôs um grande plano de desinvestimento em atividades do *downstream*. Projetos ambiciosos, como a implantação da refinaria Comperj em Itaboraí-RJ, foram colocadas em pausa,

dependendo da formação de parcerias para sua continuidade. Esse cenário é corroborado pelo Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 (PDE 2026) da Empresa de Pesquisa Enérgética (EPE) (BRASIL, 2016). Nesse contexto, também sem ter em vista grandes investimentos pelo segmento de rerrefino, é de se esperar que, nos próximos anos, as importações de óleos lubrificantes aumentem em volume e proporção.

4. A LOGÍSTICA REVERSA DE LUBRIFICANTES

4 A LOGÍSTICA REVERSA DE LUBRIFICANTES

Esse capítulo se propõe a apresentar a cadeia de valor pós-consumo de lubrificantes, um breve histórico de sua evolução no Brasil e uma análise detalhada sobre a atual estruturação e dimensão desse mercado, seus desafios e perspectivas, baseado nos números e informações obtidos da base de dados da ANP.

4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

4.1.1 Óleo lubrificante usado ou contaminado (OLUC)

Ao longo do processo de uso de um lubrificante podem ocorrer diversos fenômenos modificadores de suas propriedades, como por exemplo: a contaminação por substâncias como combustíveis (gasolina, diesel ou etanol), fluidos refrigerantes (água e etileno glicol), e metais de desgaste; a perda da atividade dos aditivos; o surgimento de produtos da oxidação. Essas contaminações interferem diretamente nas propriedades do lubrificante, notadamente na viscosidade, diminuindo sua eficiência. Uma vez degradado, o lubrificante pode levar a desgaste mecânico comprometendo as funções da máquina (figura 10). Assim, na maioria dos usos, o fluido lubrificante é substituído periodicamente (BORGES NETO, 2005).

FIGURA 10 MOTOR AUTOMOTIVO DANIFICADO PELO USO DE LUBRIFICANTE DEGRADADO. FONTE: BORGES NETO (2005)

A contaminação pela água, por exemplo, prejudica sensivelmente o óleo lubrificante. Quando se trata de óleo para transformadores, a mínima quantidade de água basta para causar considerável diminuição do poder dielétrico, tornando-o impróprio para uso. Nos óleos que contêm aditivos ou óleos graxos, a água pode provocar a precipitação ou deterioração desses agentes (BELMIRO, P.; CARRETEIRO, 2006).

Cerca de 50 anos atrás, os óleos de motores a combustão interna eram trocados a cada 1500 km (GUIMARÃES, 2006). Com evoluções constantes das formulações lubrificantes e dos próprios motores ciclo diesel e ciclo otto, para um veículo em boas condições de dirigibilidade, com estradas pavimentadas e conservadas, viagens de média e longa distância a velocidades e cargas moderadas e um combustível de boa qualidade, a troca do lubrificante pode se estender por intervalos da ordem de 45.000 km, prolongando-se extraordinariamente a sua vida útil (MOBIL, 2018). Em aplicações mais particulares, o intervalo de troca definido pelo fabricante do motor varia entre 7.500 a 15.000 km (RENAULT, 2018).

Normalmente, cada fabricante de veículo define com grande margem de segurança, a quilometragem que o óleo deve ser trocado. No caso dos motores estacionários, o período de troca é dado em horas de funcionamento da máquina (GUIMARÃES, 2006).

A troca de óleo pode requerer infraestrutura, maquinário e pessoal especializado. Todavia, nas aplicações mais comuns (motores a combustão interna), são necessários pouco material e apenas conhecimentos básicos. Dessa forma, a troca é realizada em locais os mais diversos, como em garagens, postos de gasolina, oficinas mecânicas vinculadas a concessionárias ou independentes, lojas de troca de óleos, nas indústrias e nas instalações portuárias de reabastecimento de lubrificantes a embarcações.

Os óleos lubrificantes usados possuem produtos resultantes da sua utilização e do desgaste das peças com as quais estes entram em contato durante o uso, tais como compostos oxigenados (ácidos orgânicos e cetonas) e compostos aromáticos polinucleares de viscosidade elevada. Além dos produtos de degradação do básico, estão presentes no OLUC os aditivos que foram adicionados ao óleo básico no processo de formulação de lubrificantes e ainda não foram consumidos, contaminantes diversos, como água, combustível não queimado, poeira e outras

impurezas e metais de desgaste dos motores, como por exemplo, chumbo, zinco, cobre, cromo, níquel e o cádmio que podem ser extremamente prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente. Por esta razão, o OLUC é um resíduo considerado perigoso (DOS REIS; JERONIMO, 1988; SOHN, 2011).

A norma ABNT NBR 10004 definiu a classificação dos resíduos sólidos quanto aos seus potenciais riscos ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente (ABNT, 2004). Segundo essa norma, os resíduos são classificados quanto à sua periculosidade em duas Classes: **Classe I – Perigosos** e **Classe II – Não Perigosos**; sendo que a Classe II admite ainda dois padrões: **Classe II A – Não inertes** e **Classe II B – Inertes.** Resíduos perigosos são aqueles que apresentam inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade. Segundo essa mesma norma, o OLUC, independente da sua origem, é definido como resíduo Classe I – Perigoso, por apresentar toxicidade. Dessa forma, dentro dos normativos brasileiros, devem ser tomadas uma série de cuidados adicionais com o seu manuseio, armazenamento e descarte para evitar que cause danos à saúde e ao meio ambiente.

Para a saúde humana, os compostos químicos existentes no OLUC podem provocar desde lesões na pele até câncer. Pelo lado ambiental, os óleos lubrificantes não são solúveis em água, não são biodegradáveis, espalham substâncias tóxicas neles contidas e impedem a passagem de oxigênio através de outros meios por formarem películas impermeáveis (FERNANDES; TAGLIALENHA; SCHUELTER, 2016).

Assim, há duas razões fundamentais que explicam o interesse em reciclar o OLUC: (a) a eliminação de uma fonte de poluição e (b) a possibilidade de recuperar o óleo básico, substituindo o uso de petróleo cru (DOS REIS; JERONIMO, 1988).

4.2 HISTÓRICO

A primeira regulamentação voltada à indústria do rerrefino foi elaborada pelo CNP em 1963 (BRASIL, 1963), dado o interesse do governo na redução das importações de petróleo, fonte de matéria prima dos óleos lubrificantes. A maior oferta de produto reciclado significaria menor dependência do petróleo importado.

Desse ponto em diante, até o meio da década de 1980, diversas regulamentações do CNP disciplinaram as fontes geradoras e a coleta de OLUC , bem como a qualidade do óleo rerrefinado, com tecnologia que permitia alcançar especificações equivalentes às dos óleos de primeiro refino (BRASIL, 1977a;1977b;1985). Em vista dessa qualidade, os formuladores de óleo lubrificante acabado iniciaram a compra e a implantação da logística reversa dos óleos usados, a título de matéria prima secundária, obtendo economias advindas do uso dos óleos rerrefinados. Nesse período, verificou-se um aumento da produção de óleos rerrefinados de 30 milhões de litros/ano para 200 milhões de litros/ano (LEITE, 2003).

Até 1988, a legislação previa uma tributação incentivadora à logística reversa do OLUC, por meio de isenção dos óleos rerrefinados ao imposto único (*ad-valorem*) que vigorava sobre os demais derivados de petróleo. Até então, a coleta era financiada pelos próprios rerrefinadores e, segundo a associação que representa esse segmento (Sindirrefino), remunerava convenientemente a fonte geradora do OLUC, os postos de serviços. A avaliação do Sindirrefino é que o atrativo econômico funcionava melhor do que qualquer tipo de fiscalização (LEITE, 2003).

A Constituição Federal de 1988 eliminou o imposto único, bem como deu fim à isenção anteriormente concedida aos óleos lubrificantes rerrefinados. Houve súbita diminuição das margens de lucro dos diversos elos da cadeia e consequente diminuição pelo interesse na atividade de coleta e rerrefino, especialmente fora do eixo Rio-São Paulo. Em curto espaço de tempo houve diminuição do número de rerrefinadores de 32 para apenas 8, todos nas regiões Sul e Sudeste (LEITE, 2003). Notadamente, fatores logísticos influenciaram o infortúnio dos rerrefinadores das demais regiões, onde a geração de OLUC é menos densa (mais dispersa e em menor volume) e está distante dos compradores de óleo básico rerrefinado que se localizam sobretudo no eixo Rio-São Paulo. A coleta de óleo usado declinou 30% nos quatro anos subseqüentes, permanecendo na faixa dos 130 milhões de litros/ano (TRISTÃO et al., 2005).

Outro complicador para a indústria do rerrefino foi a integração da Petrobras na economia globalizada, com a internacionalização dos preços dos óleos básicos para o mercado interno, que era, para o neutro pesado, produto mais consumido, cerca de US$ 1000/m^3 em 1988 e caiu para cerca de US$ 480/m^3 em 1992. Dessa forma, os rerrefinadores perderam capacidade de comprar o óleo usado, que passou

a concorrer com o óleo combustível BPF (baixo ponto de fluidez). Os geradores passaram a dar outras destinações ao produto, principalmente a queima em fundições e outros fornos de pequenas indústrias, as quais são ambientalmente questionáveis (TRISTÃO et al., 2005). Também nessa época, a comunidade internacional passava a admitir claramente que era preciso conciliar o desenvolvimento socioeconômico com o uso dos recursos naturais. O expoente desse movimento foi a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Cnumad), realizada em junho/1992 no Rio de Janeiro, conhecida por Eco-92 ou Rio-92.

Em 1992, o governo brasileiro concede um subsídio tributário ao setor, denominado Frete de Uniformização de Preços (FUP), visando melhorar a relação entre os fluxos reversos e diretos através do reestabelecimento de condições de transporte e coleta de óleos usados em regiões mais distantes do eixo Rio-São Paulo. Logo em seguida, em 1993, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) regulamenta a reciclagem do óleo lubrificante usado, dando prioridade ao rerrefino (BRASIL, 1993).

Em 1997, em um contexto de continuada abertura do mercado brasileiro de petróleo e derivados para a economia internacional, novos regulamentos federais alteraram novamente o tênue equilíbrio do mercado de rerrefino. Nesse ano foi eliminada qualquer interferência do então Departamento Nacional de Combustíveis (DNC) sobre as importações de óleos lubrificantes básicos e acabados (BRASIL, 1997b) e os preços do óleo básico vendido pela Petrobras ficaram temporariamente limitados aos praticados no mercado internacional (BRASIL, 1997a), quando logo depois foram liberados (BRASIL, 1997c). A FUP foi extinta e a queda do preço dos óleos básicos refletiu imediatamente na atividade de rerrefino no país.

A grande diferença entre os preços dos óleos rerrefinados e os óleos básicos de primeiro refino poderia inviabilizar a indústria do rerrefino no Brasil, tendo como conseqüência a paralisação da coleta e o rerrefino (aplicação prioritária, conforme determina a Resolução Conama nº 09/1993) dos óleos usados. Diante da situação, em agosto de 1997, as companhias produtoras de óleo acabado foram obrigadas a adquirir óleo rerrefinado com preço definido, por força de um “Termo de Compromisso” entre Sindicom, Sindirrefino, Fecombustíveis e Petrobras. Este “Termo de Compromisso”, que deveria vigorar somente até dezembro de 1997, foi prorrogado

sucessivamente até julho de 1998. O rateio dos volumes de compra de óleo rerrefinado foi baseado na participação de cada produtor no mercado (*market share*).

A partir de agosto de 1998, o Sindicom decidiu não mais prorrogar o “Termo de Compromisso”. Cada produtor passou a negociar, diretamente com as empresas rerrefinadoras, a compra do óleo rerrefinado.

Em setembro de 1998, o governo brasileiro decidiu estabelecer um subsídio aos rerrefinadores por efetuarem a coleta de óleo usado, em complementação aos valores negociados e pagos pelos produtores (BRASIL, 1998). Esse subsídio durou até setembro de 1999, quando o preço do óleo rerrefinado já se situava em torno de 6% mais barato que o óleo de primeiro refino (TÁVORA; QUELHAS, 2003). Cabe destacar que essa forma de precificação (óleo básico Petrobras menos um percentual) é mantida pelos rerrefinadores, com algumas variações, até os dias de hoje.

Em 1999, a ANP estabeleceu um conjunto de portarias técnicas que regulamentavam as principais atividades que integram a cadeia de valor dos lubrificantes (BRASIL, 1999b;1999c;1999d;1999e;1999f;1999g;1999h). Como marcos principais desses regulamentos, pode-se destacar (i) a desvinculação entre as atividades de coleta e de rerrefino; (ii) o estabelecimento do produtor ou importador como responsáveis pela coleta e a destinação final do óleo lubrificante usado ou contaminado, podendo contratar coletores para execução dessa obrigação; (iii) a determinação de volume mínimo de coleta a ser atendido por cada produtor/importador, com base em percentual relativo ao volume total de óleo lubrificante acabado comercializado; (iv) evolução desses percentuais anualmente, partindo de 20% em outubro de 1999, para 25% em outubro de 2000, e finalmente para 30% a partir de outubro de 2001, em consonância com as diretrizes do Ministério de Meio Ambiente (MMA) e Ministério de Minas e Energia (MME) (BRASIL, 1999a).

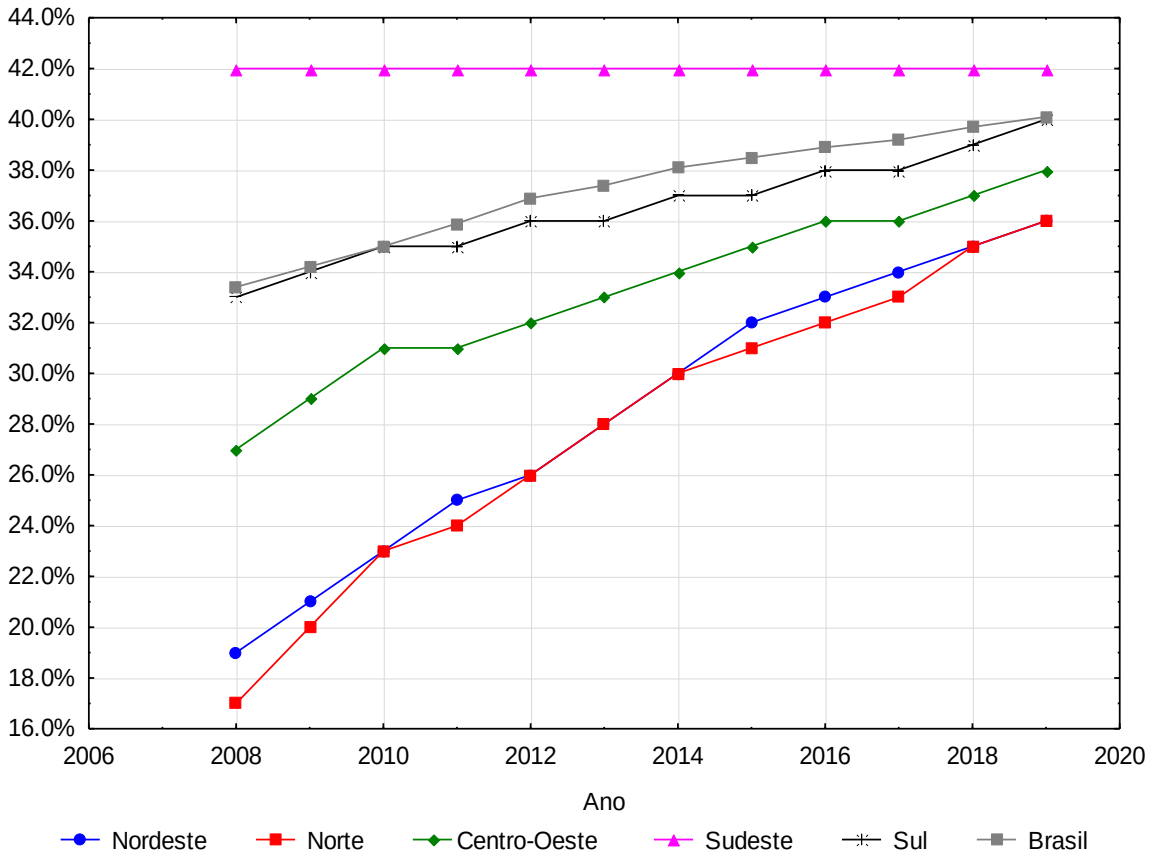
Esses últimos regulamentos instituíram oficialmente, dessa forma, o princípio de poluidor-pagador no mercado brasileiro de lubrificantes. A origem do princípio do poluidor-pagador encontra-se na obra pioneira de Pigou sobre externalidades, *The Economics of Welfare*, publicada em 1920. A proposição básica defendida pelo economista é de que quando o funcionamento do sistema econômico apresenta falhas é necessário que haja alguma ação governamental para corrigí-las. Assim, no caso da poluição, externalidade negativa decorrente da falha do mecanismo de preços, a idéia defendida por Pigou (2017) é a utilização de um imposto como uma forma de

transpor o abismo entre o custo privado e o social que está na raiz do dano ambiental. Na regulamentação proposta para o mercado de lubrificantes, esse “imposto” não é diretamente arrecadado pelo Estado, mas sim transferido para o setor responsável por diminuir a externalidade negativa gerada pela utilização de lubrificantes.

A despeito da regulamentação federal, nos anos de 2000-2001, a coleta nacional de OLUC situava-se em torno de 185 milhões/ano, em um mercado total de lubrificantes em torno de 900 milhões L/ano. Isso representa um percentual de coleta nacional em torno de 20%, ainda distante dos 30% previstos pela legislação para a época. A situação se agravava nos estados da região Norte, onde a coleta de OLUC com destino ao rerrefino era praticamente nula (TÁVORA; QUELHAS, 2003).

Em 2005, a Resolução CONAMA nº 362/2005, ainda em vigor, reforçou o princípio de poluidor pagador (BRASIL, 2005). Desde então, as metas percentuais mínimas de coleta são definidas por região em ato conjunto do MME e MMA, aumentando progressivamente a cada ano e buscando diminuir as disparidades de coleta nas diferentes regiões do país. Há também uma meta nacional, independente do cumprimento regional. A evolução desses percentuais está registrada no Apêndice 1 e são dispostos no para melhor visualização no gráfico 11 a seguir.

GRÁFICO 11 PERCENTUAIS MÍNIMOS DE COLETA DE ÓLEO LUBRIFICANTE USADO OU CONTAMINADO, POR REGIÃO DO PAÍS, PARA OS ANOS DE 2008 A 2019
FONTE: PORTELLA (2017)



Observa-se, da análise do gráfico 11, que a região Sudeste é a que apresenta maior percentual mínimo de coleta, estável em 42% desde 2008. Isso se deve ao fato de que nessa região encontram-se condições logísticas mais favoráveis para a coleta OLUC. Ali estão concentrados os maiores volumes de consumo de óleo lubrificante (e consequentemente de geração de OLUC), o maior parque de rerrefino e a grande maioria da demanda por óleo básico para formulação de lubrificantes acabados.

Por outro lado, uma vez observada a incapacidade inicial de coleta em percentual superior a 30% em todo país, os órgãos responsáveis definiram em 2008 percentuais de coleta menores que esse para as regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte. Desde então, esses percentuais sobem progressivamente a cada ano, num claro intuito do poder público de elevar a parcela do OLUC que é reciclada por meio do rerrefino. A partir de 2014, todos os percentuais regionais passaram a ser iguais ou superiores aos 30% anteriormente determinados para vigência a partir de 2001.

A análise de todo o histórico da logística reversa do óleo lubrificante nos permite observar e contrapor diferentes fases desse mercado no Brasil. Num primeiro momento, pós 1963, seu motor era predominantemente econômico, já que o faturamento com a venda de óleo básico rerrefinado era suficiente para remunerar os esforços de coleta e rerrefino. A isenção de impostos dada ao setor objetivava a menor dependência externa de petróleo. Após a redemocratização no Brasil, com uma reforma constitucional e, sobretudo, a reforma tributária, houve restrição nos ganhos econômicos, que fizeram retrair drasticamente o volume coletado. Surge então um novo motor ambiental/legal que atribui às empresas da cadeia direta a responsabilidade pela cadeia reversa. Um novo equilíbrio é atingido e os volumes coletados voltam a subir.

Outros fatores são ainda determinantes para a atual organização do mercado. O fator logístico explica a maior concentração da coleta em determinadas regiões. O fator tecnológico, por sua vez, explica a opção pelo rerrefino, ao invés da queima, por exemplo, como destino preferencial do OLUC, dado que aquela tecnologia é capaz de retornar o resíduo à condição de matéria-prima.

4.3 ESTRUTURAÇÃO ATUAL DO MERCADO

Nessa seção são discutidos os aspectos mais relevantes da atual estrutura do mercado de lubrificantes e sua rede logística, tanto direta quanto reversa.

4.3.1 Agentes do mercado

Como apontado na seção 4.2, a logística reversa de óleo lubrificante está associada a forte fator legal/regulatório como impulsor de suas atividades. Algumas das atividades principais tanto do canal direto quanto reverso de fornecimento de lubrificantes estão regulamentadas por resoluções da ANP. No canal reverso, tanto o exercício da atividade de coleta quanto de rerrefino demandam autorização prévia da ANP para operação, conforme destacado na tabela 6.

TABELA 6 AGENTES DO MERCADO DE LUBRIFICANTES

Atividade	Canal logístico	Natureza jurídica	Autorização/ cadastro	Regulamentação da atividade
Produtor de óleo lubrificante básico	Direto	PJ	Cadastrado pela ANP	Resolução ANP nº 16/2009
Importador de óleo lubrificante básico	Direto	PJ	Cadastrado pela ANP	Resolução ANP nº 16/2009
Fornecedor de aditivo	Direto	PJ		
Produtor de óleo lubrificante acabado	Direto	PJ	Autorizado pela ANP e licenciado pelo órgão ambiental	Resolução ANP nº 18/2009
Importador de óleo lubrificante acabado	Direto	PJ	Autorizado pela ANP	Resolução ANP nº 17/2009
Revendedor de óleos lubrificantes	Direto	PJ	N/A	N/A
Consumidor/ gerador de OLUC	Consumidor	PJ ou PF	N/A	N/A
Coletor	Reverso	PJ	Autorizado pela ANP e licenciado pelo órgão ambiental	Resolução ANP nº 20/2009
Rerrefinador	Reverso	PJ	Autorizado pela ANP e licenciado pelo órgão ambiental	Resolução ANP nº 19/2009

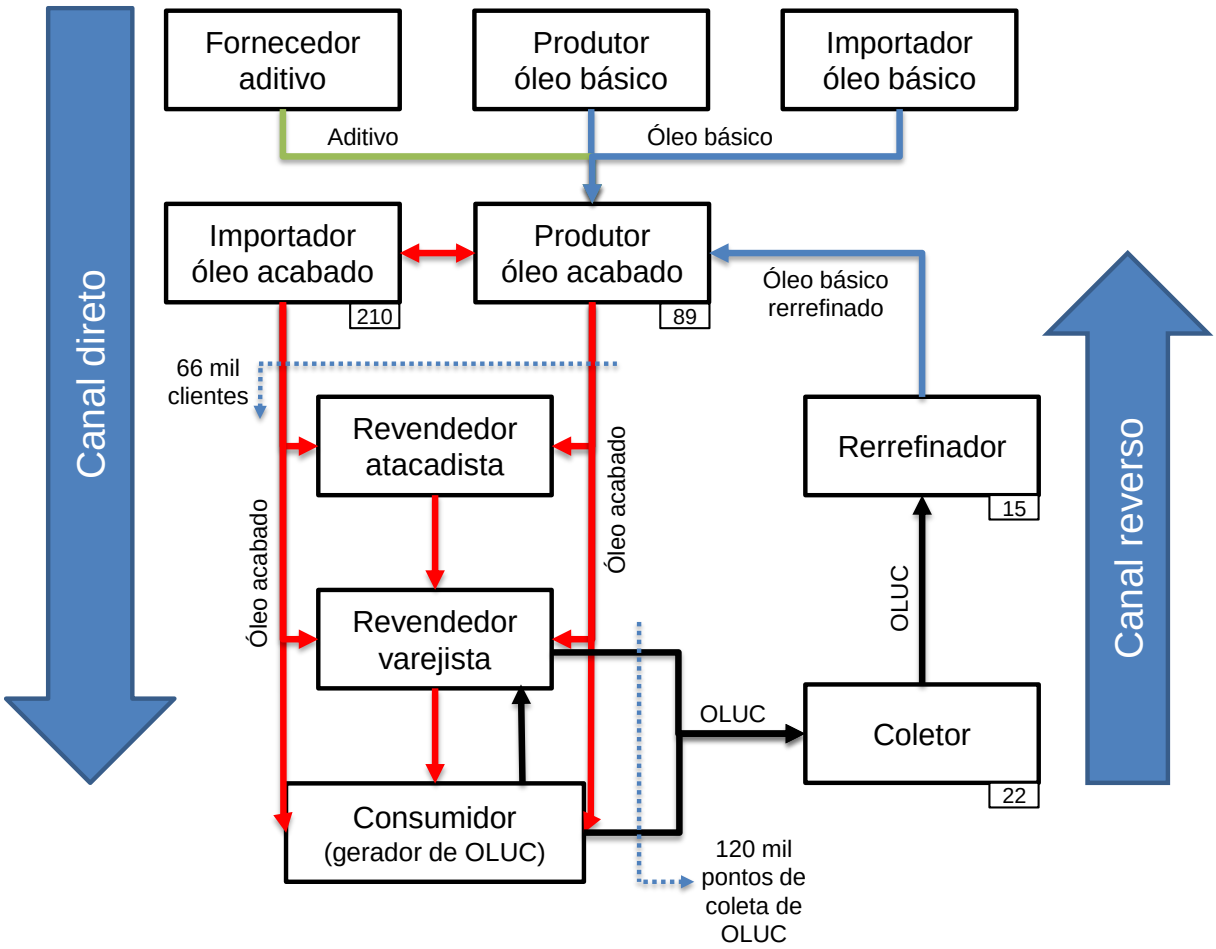
PJ = Pessoa Jurídica

PF = Pessoa Física

N/A = Não se aplica

Os óleos lubrificantes acabados são fornecidos no mercado brasileiro pelos produtores nacionais e pelos importadores. Devido à reciclabilidade do óleo lubrificante, as cadeias logísticas direta e reversa se complementam conforme ilustrado na figura 11. O quantitativo de agentes foi compilado de publicações da ANP (BRASIL, 2017a; DUQUE et al., 2017)

FIGURA 11 SISTEMA NACIONAL DE ABASTECIMENTO E LOGÍSTICA REVERSA DE LUBRIFICANTES
FONTE: Adaptado de DUQUE ET AL. (2017) P.59 . Dados de 2016



Os cerca de 89 produtores autorizados pela ANP formulam seu produto a partir de matérias-primas (óleo básico e aditivos) nacionais ou importados. A formulação pode se dar tanto em instalações próprias quanto de terceiros e, para ser autorizado como produtor, a empresa não precisa necessariamente ter uma instalação própria de produção. Tanto os produtores quanto os importadores da principal matéria-prima, o óleo básico, devem ser cadastrados previamente junto à ANP.

Já os cerca de 210 importadores, também autorizados pela ANP, são empresas constituídas no Brasil e que trazem produtos formulados no exterior para o país. É importante lembrar que o universo de importadores é ainda maior, já que a Resolução ANP nº 51/2010 dispensa da autorização ao exercício da atividade as empresas que importarem óleo lubrificante acabado em quantidade inferior a 100 kg/mês. É importante também ressaltar que uma mesma empresa pode deter

autorização tanto para a atividade de importação quanto de produção de lubrificantes acabados – esse é o caso de 37 empresas.

Ambos, produtores e importadores, podem entregar seu produto diretamente ao consumidor ou, como acontece com a maior parte do volume, utilizarem canais de revenda, seja no atacado ou no varejo. No segmento de óleos automotivos, a revenda varejista é composta principalmente por oficinas, concessionárias e postos de revenda de combustíveis (não necessariamente nessa ordem). No ano de 2016, os produtores e importadores declararam à ANP vendas de óleo lubrificante acabado a cerca de 66 mil clientes distintos. Todavia, o universo de revendedores deve ser ainda maior que esse, já que os revendedores atacadistas distribuem o produto por um número ainda maior de revendedores. Observa-se, dessa forma, que pelo menos parte dos produtores e importadores de óleo lubrificante são responsáveis por uma ampla rede logística de distribuição, que ainda é complementada pela rede dos revendedores.

No decorrer do uso, boa parte dos lubrificantes perde gradualmente parte de suas características desejáveis. Ao final de sua vida útil, o óleo usado torna-se um resíduo classificado como perigoso, de alta carga poluente. O gerador do óleo deve alienar o OLUC exclusivamente a um ponto de recolhimento ou coletor autorizado. O revendedor, por sua vez, deve dispor de instalações adequadas devidamente licenciadas pelo órgão ambiental competente para a substituição do óleo usado ou contaminado e seu recolhimento de forma segura, em lugar acessível à coleta, utilizando recipientes propícios e resistentes a vazamentos, de modo a não contaminar o meio ambiente.

No Brasil, a Resolução Conama nº 362/2005 define como deve ser o armazenamento, o recolhimento e o destino do óleo lubrificante usado. Essa Resolução CONAMA atribui aos produtores e importadores a obrigação legal de coletar todo óleo disponível ou garantir o custeio de toda a coleta de OLUC efetivamente realizada, na proporção do óleo que colocarem no mercado conforme metas progressivas intermediárias e finais estabelecidas pelos MMA e MME

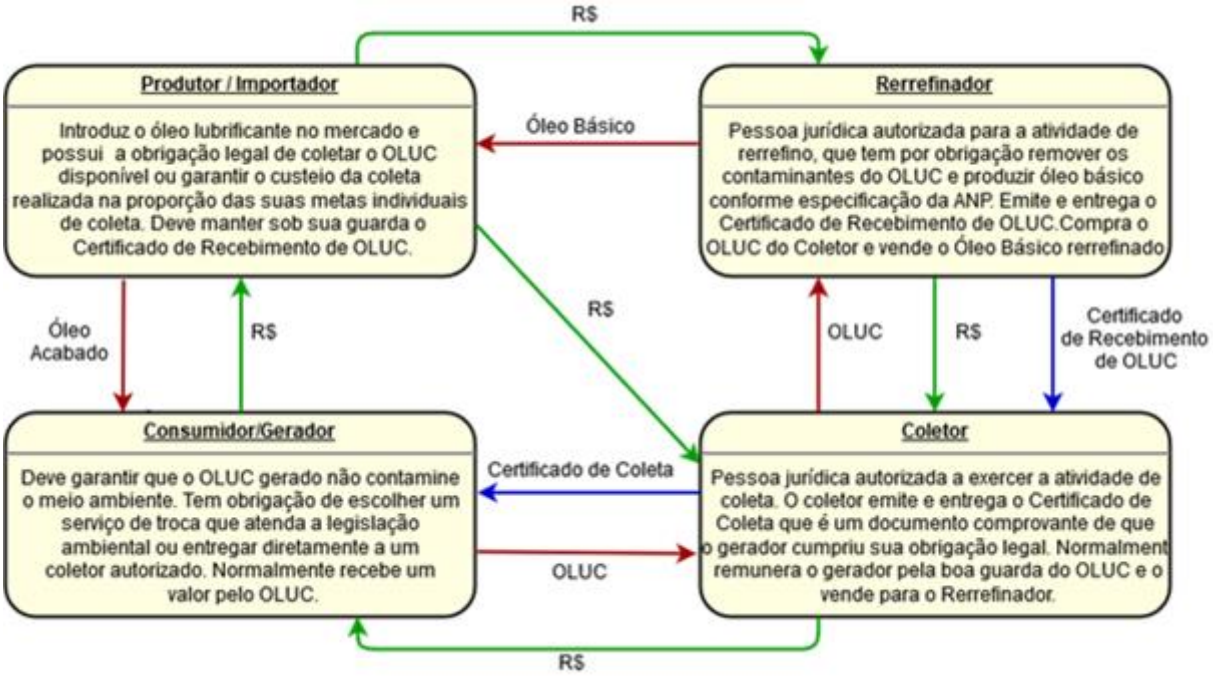
Para o cumprimento dessa obrigação, os produtores/importadores podem se autorizar junto à ANP como coletores ou, como ocorre na maioria dos casos, podem celebrar um contrato de coleta junto a um coletor autorizado. O custo relativo à coleta contratada normalmente é incluído no valor do óleo lubrificante acabado que é colocado no mercado pelos produtores/importadores

Apenas 22 empresas coletoras estão autorizadas pela ANP ao exercício dessa atividade. No ano de 2016, esses coletores visitaram (e informaram à ANP) cerca de 120 mil diferentes pontos de coleta de OLUC, localizados em 4.047 municípios brasileiros de um total de 5.570 (72,7%) (BRASIL, 2017a). No momento da coleta, a empresa que realiza a coleta emite um Certificado de Coleta, que serve como documento fiscal que comprova a data, quantidade de resíduo coletada de cada posto de serviço e valor pago pelo mesmo. O Certificado de Coleta é o documento que demonstrará que se agiu em conformidade com a Lei, com responsabilidade social e ambiental. Trata-se de um documento de emissão regulamentada e controlada, como se fosse uma nota fiscal, e como esta tem uma numeração única e progressiva, além de vários elementos identificadores obrigatórios (FERNANDES et al., 2016; LEANDRO, 2014). É comum que o coletor pague uma quantia simbólica para o gerador/revendedor pela boa guarda do óleo, quando o produto é mantido afastado de contaminação por água, combustíveis ou solventes.

O OLUC é então destinado aos 15 rerrefinadores autorizados pela ANP para a eliminação dos contaminantes e obtenção de óleo básico que pode ser utilizado na formulação de lubrificantes novamente. Quando recebe do coletor o OLUC coletado, o rerrefinador emite um Certificado de Recebimento do OLUC, no modelo da Resolução ANP nº 19/2009. Nesse Certificado de Recebimento constam as informações do rerrefinador (emissor do documento), do coletor que coletou e transportou o OLUC, dos locais onde o OLUC foi coletado e do produtor ou importador que contratou o coletor e, portanto, ressarciu a coleta. Os produtores e importadores devem manter sob sua guarda o Certificado de Recebimento do OLUC para fins fiscalizatórios (BRASIL, 2009b;2009c)

Finalmente, o rerrefinador produz óleo básico a partir do OLUC recebido, e o comercializa com os produtores, que irão incluir esse óleo básico rerrefinado em suas formulações de óleos lubrificantes acabados e graxas. Uma representação gráfica desse fluxo é apresentada na figura 12. É dado destaque ao fluxo de geração e transferência de receita (R$), que gira no sentido inverso ao fluxo de produto e remunera cada elo por sua operação, mesmo que essa seja apenas acumular e manter descontaminado o OLUC (no caso do gerador/revendedor). A legislação impõe ainda ao produtor/importador que se responsabilize pela atividade de coleta. Na prática, isso é feito pela assinatura de contratos e pagamentos aos coletores.

FIGURA 12 ESQUEMATIZAÇÃO DOS AGENTES DO MERCADO DE LUBRIFICANTE E SUAS OBRIGAÇÕES
FONTE: PORTELLA (2017)

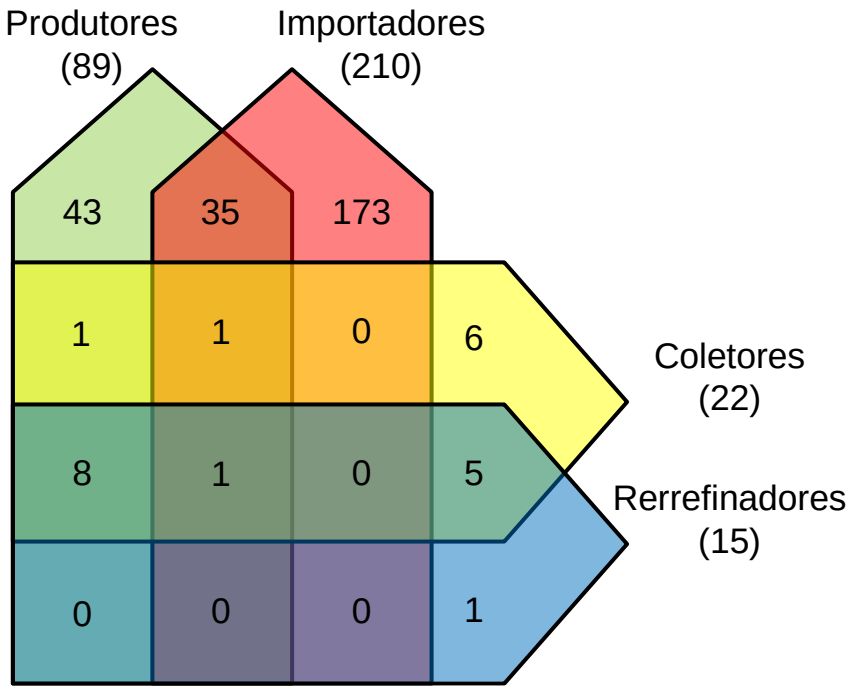


4.3.2 Integração das atividades e verticalização

As Resoluções ANP vigentes que regulamentam o setor de lubrificantes não vetam nenhum tipo de acumulação do exercício de atividade, ou seja, uma mesma empresa pode exercer cumulativamente as atividades de produção e importação de óleo lubrificante acabado, coleta e rerrefino de OLUC.

A partir dos dados de agentes autorizados pela ANP (BRASIL, 2017a) foi possível montar o diagrama de Venn da figura 13, que ilustra a realidade atual de integração das atividades.

FIGURA 13 QUANTITATIVO DE AGENTES AUTORIZADOS PELA ANP E ACUMULAÇÃO DE ATIVIDADES
FONTE: ELABORADO PELO AUTOR COM DADOS DE BRASIL (2017A)



Como se nota na figura 13, o mercado é muito mais pulverizado no fornecimento de óleo lubrificante acabado, com um total de 262 empresas autorizadas como produtores ou importadores, contra apenas 23 autorizadas às atividades ligadas à logística reversa (coletores ou rerrefinadores).

No fornecimento de óleo lubrificante acabado, é interessante notar que, dos 89 produtores, 37 (41,6%) são também autorizados como importadores. Nesse mercado há marcante atuação de empresas multinacionais que são responsáveis por grande produção no Brasil, mas que recorrem à importação especialmente no fornecimento de algumas linhas de produtos de alta tecnologia, como lubrificantes para aviação.

No canal reverso de fornecimento, apesar de desde 1999 as atividades de coleta e rerrefino serem regulamentadas de maneira desvinculada (como descrito na seção 4.2), há grande integração vertical de atividades. Dos 15 rerrefinadores, apenas 1 não está autorizado à atividade de coleta. No universo de 22 coletores, apenas 8 são “coletores independentes”, ou seja, não possuem instalação autorizada ao rerrefino. A verticalização, nesse caso, é o instrumento que os rerrefinadores dispõem para a garantia da qualidade e da quantidade no suprimento de matéria-prima.

Também é marcante a integração do rerrefino com a atividade de produção de óleo lubrificante acabado. Num universo de 15 rerrefinadores, 9 são também autorizados como produtores. Nesse caso, os rerrefinadores utilizam o próprio óleo básico rerrefinado, em todo ou em parte, para produção de óleo lubrificante acabado. Do ponto de vista da teoria econômica, é controverso se a integração vertical aumenta o bem-estar econômico (ANTUNES, 2014)

Apesar de vários rerrefinadores terem optado por exercer atividades de produção, o contrário não é verdadeiro. O normativo legal atribui a responsabilidade da coleta ao produtor/importador e dá duas possibilidades de cumprirem com esse compromisso legal, de acordo com § 1º, incisos I e II do art. 6º da Resolução Conama nº 362/2005:

> *I - contratar empresa coletora regularmente autorizada junto ao órgão regulador da indústria do petróleo; ou*
> *II - habilitar-se como empresa coletora, na forma da legislação do órgão regulador da indústria do petróleo.*

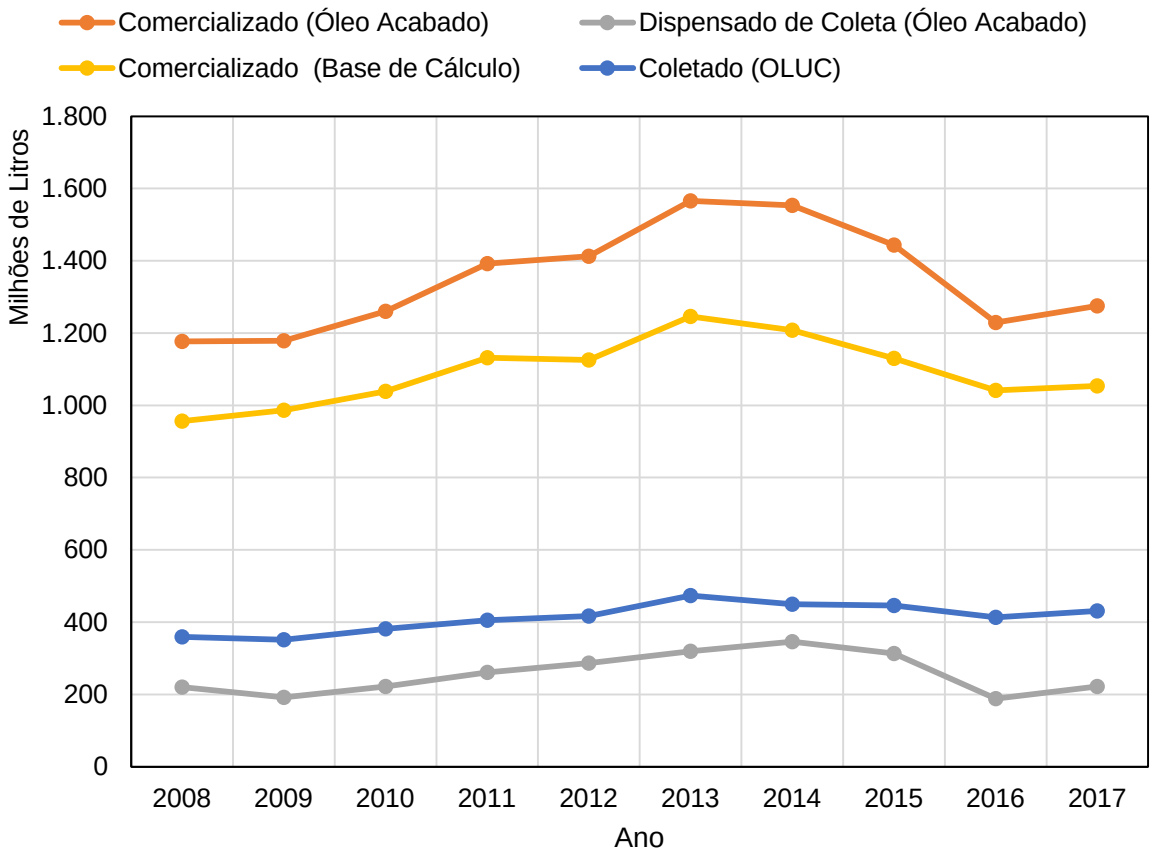
O que se observa é que os produtores e importadores, em sua maioria (251 dos 262), optam pela primeira opção, ou seja, terceirizam a execução da atividade de coleta para as empresas já detentoras de autorização para isso.

4.3.3 Volumes movimentados e distribuição geográfica

Desde 2008, estão estabelecidas metas de coleta regionais e uma meta nacional, que devem ser cumpridas por cada produtor/importador, com base na sua comercialização. São descontados dessa meta os volumes comercializados de óleos lubrificantes que, devido à sua natureza, não geram resíduos destináveis ao rerrefino ou que são comercializados com outro produtor ou importador – esse volume é dispensado de coleta. A ANP é responsável por receber as informações de comercialização declararadas por produtores e importadores, juntamente com as informações de coleta e destinação declaradas pelos coletores e rerrefinadores. Ao final de cada ano, essas informações são transmitidas ao MMA, ao MME e ao Ibama – a esse último cabe a tarefa de aplicação das sanções pecuniárias (multas) previstas na legislação ambiental por descumprimento da meta de coleta.

A ANP divulga anualmente as informações consolidadas de vendas de óleo lubrificante acabado, volumes dispensados de coleta e volumes coletados de OLUC. Os dados desde 2008 estão compilados no Apêndice 1 e são apresentados no gráfico 12. Nesse gráfico é possível perceber a nítida evolução do mercado de óleos lubrificantes, com o ápice de 1,57 bilhões de litros vendidos no ano base 2013, e um decréscimo nos anos seguintes, até 2016 quando o setor sentiu os maiores efeitos da crise econômica do país. Em 2017, o setor dá sinais de retomada do crescimento, com 1,26 bilhões de litros comercializado no ano base. Situação semelhante se observa na coleta de OLUC, com máximo histórico de 473 milhões de litros coletados em 2013 e cerca de 431 milhões de litros de coleta de OLUC ressarcida pelos produtores em 2017.

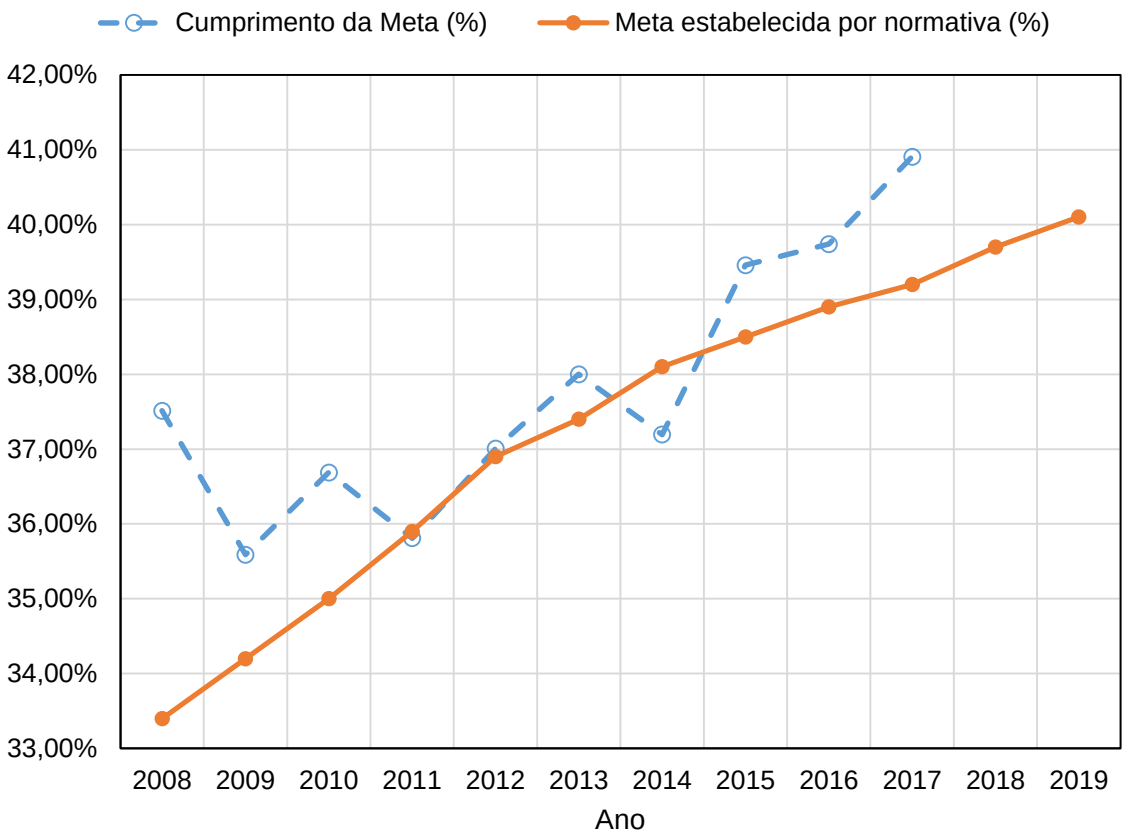
GRÁFICO 12 VOLUME COMERCIALIZADO DE ÓLEO ACABADO E VOLUME COLETADO DE OLUC (2008 – 2017)
FONTE: ELABORADO PELO AUTOR A PARTIR DE DADOS DE (ANP (2017A); BRASIL (2017A);2018A))



A partir desses dados, foi possível montar o gráfico 13 que demonstra a evolução anual do percentual agregado de cumprimento das metas propostas. É

possível notar que a legislação estabelece metas com crescimento contínuo. Por outro lado, o cumprimento da meta pelos produtores/importadores se desenvolve com sobressaltos – há anos em que a meta é cumprida com folga e em outros o percentual desejável não é atingido (como em 2011 e 2014). Independente dos sobressaltos, a tendência geral é de aumento no percentual coletado, o que indica que pelo menos um dos objetivos dessa política pública está sendo alcançado. Contribui para isso o fato de que o Ibama vem sistematicamente autuando os produtores e importadores que não atingiram suas metas individuais – em 2016, por exemplo, foram 44 empresas autuadas (MMA, 2016).

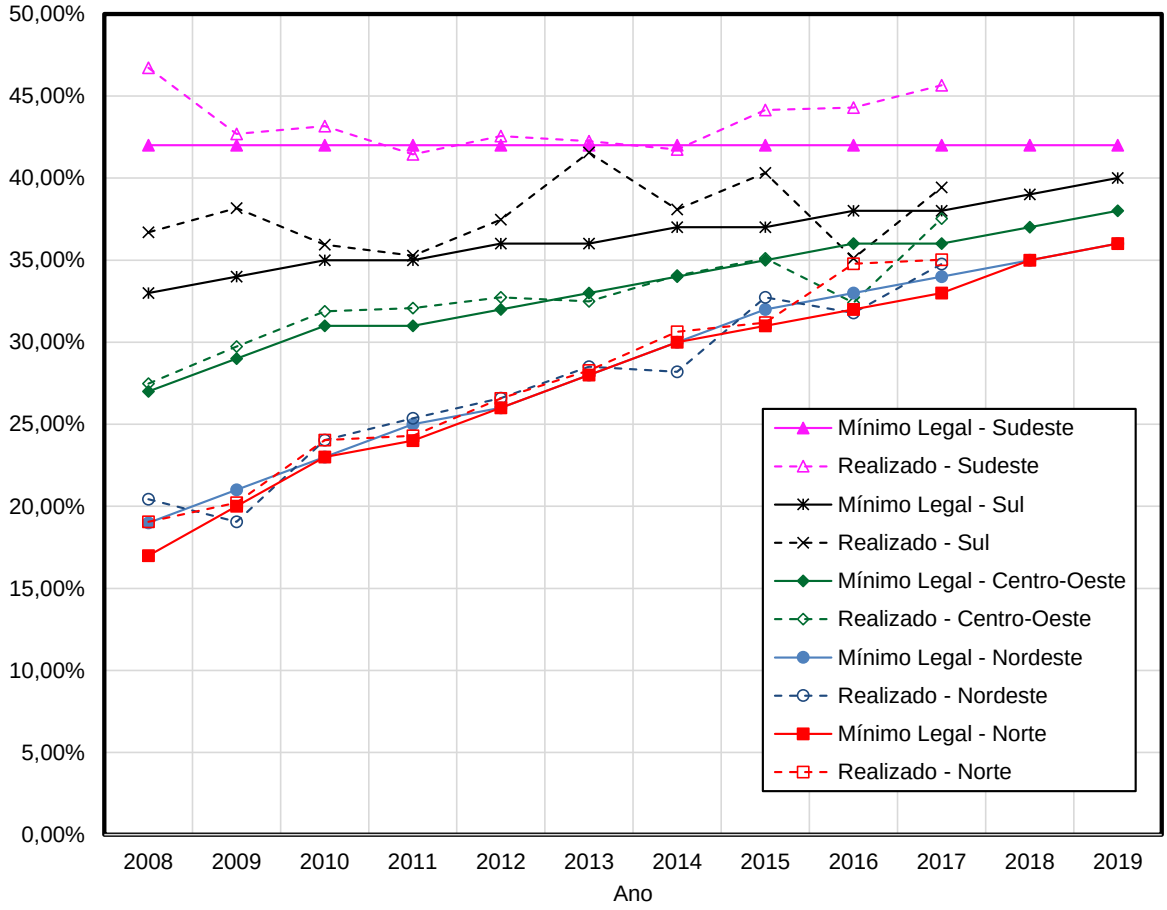
GRÁFICO 13 PERCENTUAL DE ALCANCE DA META MÍNIMA NACIONAL DE COLETA DE OLUC
FONTE: ELABORADO PELO AUTOR A PARTIR DE DADOS DE (ANP (2017A); BRASIL (2017A);2018A))



Apesar da evolução nacional do percentual coletado, ainda persistem disparidades regionais visíveis. A ANP divulga também a composição regional dos volumes comercializados e coletados desde 2008. A evolução dos percentuais atendidos pelos agentes é comparada com os percentuais legais mínimos para todas

as regiões geográficas do país. Esssas informações são apresentadas no gráfico 14 e disponibilizadas na íntegra no Apêndice 1 .

GRÁFICO 14 PERCENTUAL DE ALCANCE DA META MÍNIMA DE COLETA DE OLUC POR REGIÃO GEOGRÁFICA BRASILEIRA
FONTE: ELABORADO PELO AUTOR A PARTIR DE DADOS DE (ANP (2017A); BRASIL (2017A);2018A))

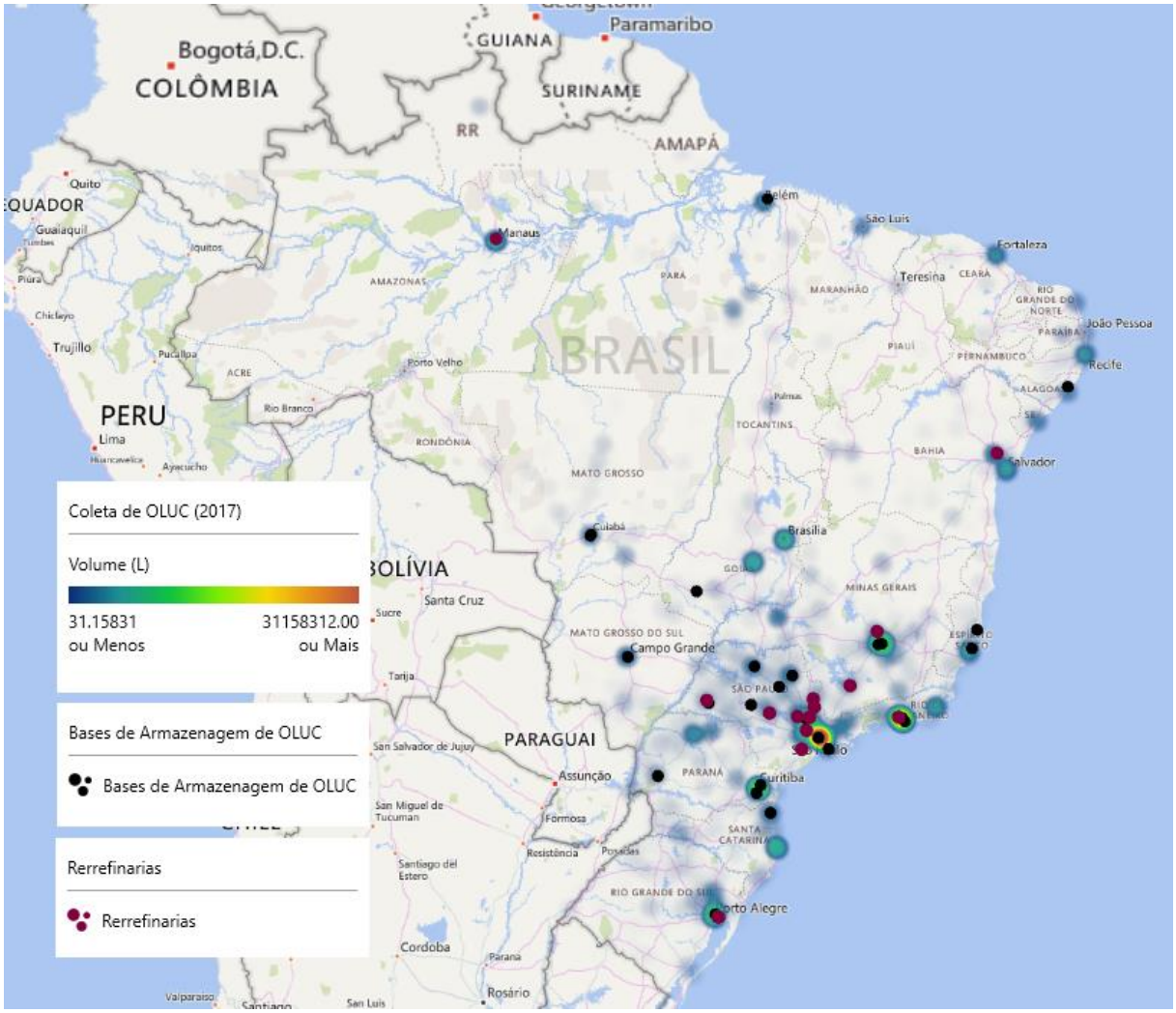


A região Sudeste movimenta os maiores volumes e respode pelo maior percentual regional de coleta. Dessa forma, o cumprimento da meta mínima nacional é fortemente influenciado pelo comportamente dessa região. Isso se confirma se observarmos que, os anos em que a meta da região Sudeste não é atendida – notadamente 2011 e 2014 – são os mesmos anos em que a meta nacional não é atingida, conforme gráfico 13. No outro extremo, estão as regiões onde as metas percentuais de coleta são menores, ou seja, as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, o percentual efetivamente realizado é, na maioria das vezes, muito próximo da meta mínima – nessas regiões, em apenas três ocasiões a coleta realizada, dividida

pela meta volumétrica de coleta, foi maior que a meta mínima em dois pontos percentuais.

A partir da implantação do sistema SIMP pela ANP em 2016, estão disponíveis dados com nível de detalhamento muito mais aprofundado. Por exemplo, com os dados de volume coletado de OLUC por município e dados de localização das bases de armazenagem de OLUC dos coletores e localização das rerrefinarias, foi possível construir a figura 14.

FIGURA 14 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DOS VOLUMES COLETADOS DE OLUC
FONTE: ELABORADO PELO AUTOR A PARTIR DE DADOS DE BRASIL (2017A)



A figura 14 apresenta um “mapa de calor” dos volumes coletados anualmente em cada município. Áreas com cores mais quentes (mais próximas do vermelho) indicam maior volume coletado. O município com maior volume coletado é São Paulo-SP, com coleta acumulada de 31,2 milhões de litros. Esse município, sozinho,

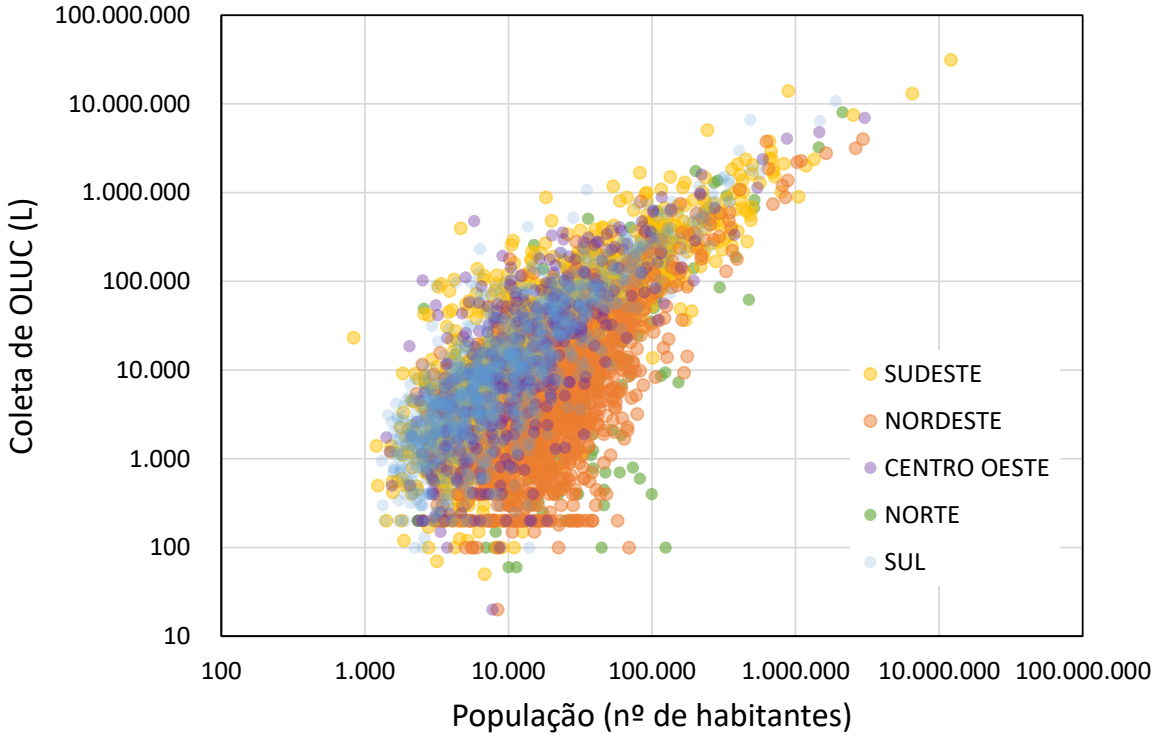
representa 7,2% de todo volume coletado no Brasil. Em geral, as capitais e regiões metropolitanas apresentam os maiores volumes coletados, devido à maior concentração populacional e, consequentemente, de automóveis e indústrias, os maiores geradores de OLUC.

Não obstante, é próximo das capitais que se localizam a maioria das bases de coleta e armazenagem de OLUC. Essas bases são geralmente pontos intermediários, com tancagem fixa, que o coletor alimenta com cargas menores, consolida e envia para o rerrefino em caminhões tanque de maior capacidade, se aproveitando de economias de escala no frete.

A maioria das rerrefinarias também estão localizadas próximas das maiores aglomerações urbanas. O estado de São Paulo abriga 8 das 15 rerrefinarias do país. Essas unidades se beneficiam da proximidade com a matéria prima (devido à concentração populacional), da boa infraestrutura rodoviária estadual e da proximidade com o mercado consumidor de básico rerrefinado e de óleo acabado.

Com o intuito de investigar a correlação entre concentração populacional e volume coletado de OLUC, foram cruzados os dados de estimativa populacional para 2017 do IBGE com os dados de coleta de OLUC divulgados pela ANP. O resultado está ilustrado no gráfico 15.

GRÁFICO 15 CORRELAÇÃO ENTRE VOLUME COLETADO DE OLUC EM 2017 E POPULAÇÃO, POR MUNICÍPIO (ESCALA LOGARÍTMICA).
FONTE: ELABORADO PELO AUTOR A PARTIR DE DADOS DE IBGE (2017) E BRASIL (2017A)



Nesse gráfico, é possível observar claramente a correlação positiva entre população e volume coletado de OLUC. O coeficiente de correlação calculado para esse conjunto de dados é r = 0,905 (r^2 = 0,820). Municípios com maior população tendem a gerar mais OLUC, como é natural se esperar. Se for considerado o volume total coletado de cerca de 423 milhões de litros de OLUC em 2017, para uma população total estimada pelo IBGE em 208 milhões de habitantes no mesmo ano, a média de volume de OLUC coletado é de **2,04 litros de OLUC por habitante** nesse ano. É interessante comparar esse número com o volume per capita de volume de óleo lubrificante acabado comercializado, apurado em 6,1 litros por habitante (ver p. 80).

Mesmo com ampla cobertura espacial, a coleta não atingiu todos os municípios. Em 2017, os coletores declararam ter ido a 4188 dos 5570 municípios brasileiros, ou 75,2% dos municípios. Esses municípios abrigam 194 milhões de habitantes, ou 93,3% da população total estimada. Se dividirmos o volume total

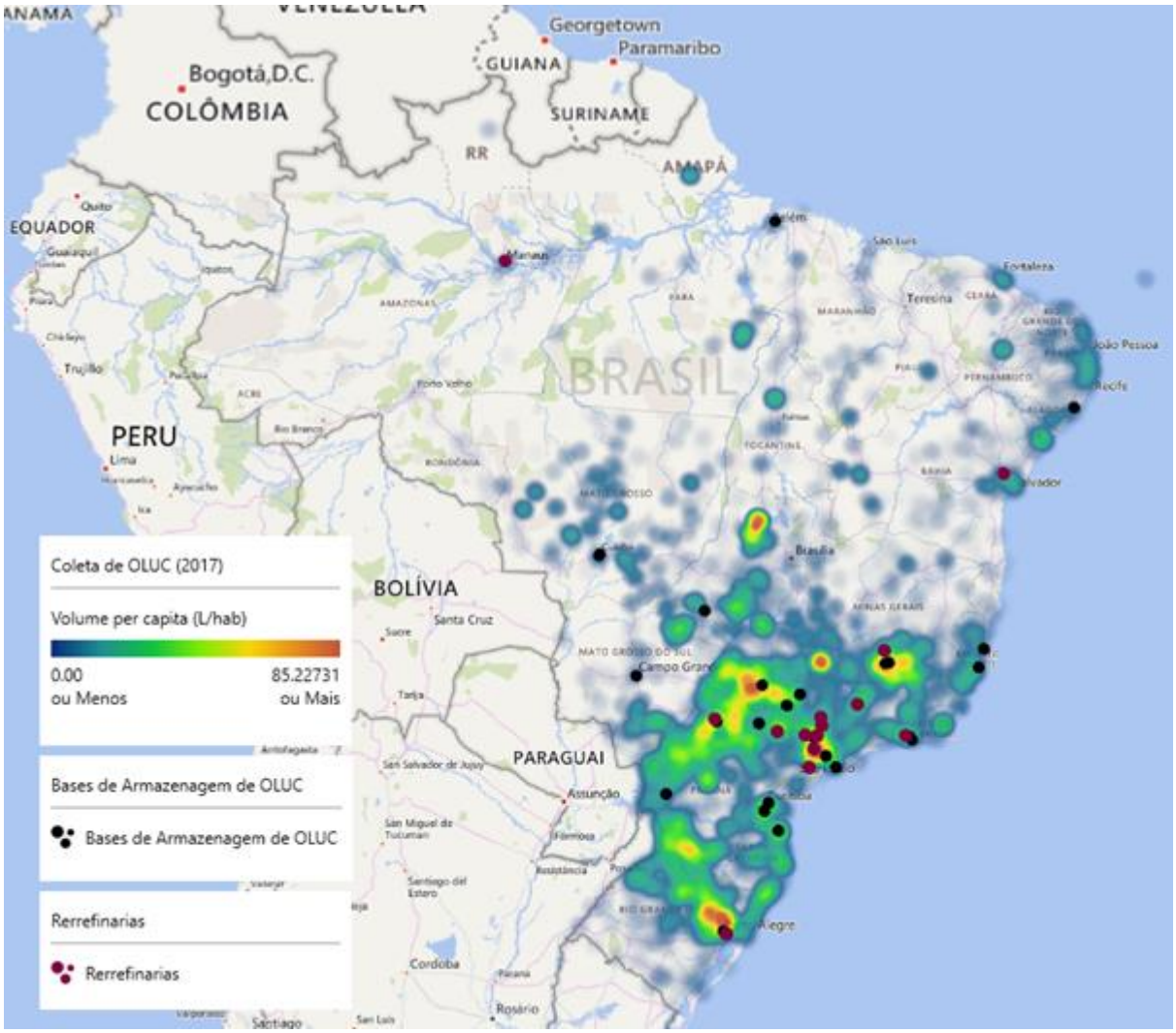
coletado pela população desses municípios, chegamos a uma média de 2,18 litros de OLUC por habitante dos municípios que receberam a coleta.

Também é possível visualizar alguma disparidade regional no gráfico 15. Em geral, os municípios da região Sudeste geram maior volume de coleta que os municípios das regiões Sul e Centro-Oeste, que por sua vez geram mais OLUC que os municípios das regiões Nordeste e Norte. COMPER; SOUZA e CHAVES (2016) explicam que fatores geográficos, tecnológicos, regulatórios e de consciência ambiental interagem para que essas regiões apresentem coletas proporcionalmente menores. Segundo os autores, a intensificação da coleta depende do reforço da rede logística atualmente implementada nessas regiões.

Na média de volumes per capita, a região Sul é a que tem o melhor indicador, com 3,01 litros de OLUC coletado/habitante, seguida por Centro-Oeste, com 2,75, Sudeste com 2,45, Norte com 1,43 e finalmente a região Nordeste com 0,90 litros de OLUC coletados por habitante.

A fim de observar a distribuição regional desse indicador (volume de OLUC coletado per capita), foi elaborada a figura 15. A observação dessa figura permite confirmar que o Centro-Sul do país apresenta o maior volume per capita de coleta de OLUC. Os estados dessa parte do Brasil, mais densamente povoados, apresentam também melhor infraestrutura de transportes. A coleta de OLUC é facilitada e se observa o maior número de instalações de coleta e rerrefino instaladas ali. E, como um reflexo positivo, uma vez que o coletor/rerrefinador instala sua base numa região, ele intensifica o trabalho de conscientização e fidelização dos geradores/revendedores nos municípios próximos, o que contribui para aumentar os índices de coleta de OLUC.

FIGURA 15 MAPA DE CALOR DO VOLUME DE OLUC COLETADO PER CAPITA
FONTE: ELABORADO PELO AUTOR A PARTIR DE DADOS DE IBGE (2017) E BRASIL (2017A)

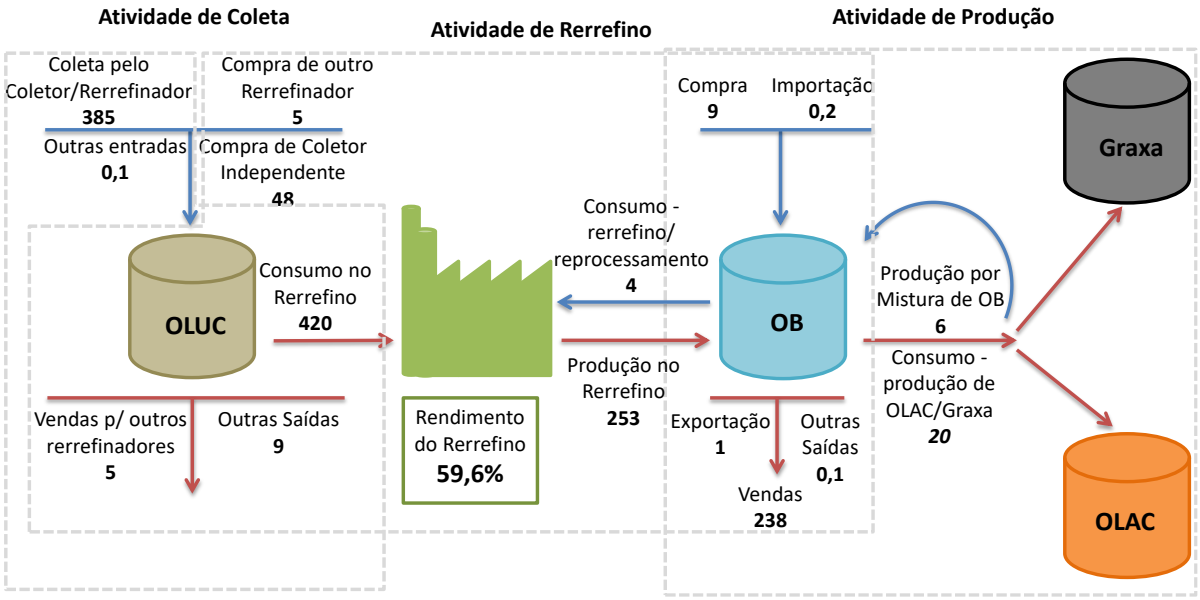


O volume de OLUC, após coletado nos geradores/revendedores, é direcionado para uma instalação de rerrefino. Os coletores que também são rerrefinadores, geralmente coletam OLUC para direcionar para sua própria instalação, mas podem também vender esse OLUC para outro rerrefinador. Os coletores independentes necessariamente venderão esse produto para um rerrefinador. Na figura 16 é apresentado um resumo das informações agregadas declaradas pelos rerrefinadores através do SIMP no ano de 2016.

Nessa figura, é importante observar que o volume adquirido dos coletores independentes (48 milhões de litros) representou apenas 11% dos 420 milhões de litros de OLUC consumidos no rerrefino. Os rerrefinadores, por outro lado, declararam ter coletado 385 milhões de litros, e comercializaram com outros rerrefinadores

apenas 5 milhões de litros. Isso reforça que, apesar da regulamentação tratar coleta e rerrefino como duas atividades distintas, há predominância na atuação integrada verticalmente.

FIGURA 16 BALANÇO VOLUMÉTRICO DOS RERREFINADORES DE LUBRIFICANTES EM 2016.
FONTE: SIMP ANP (2016) APUD (DUQUE ET AL., 2017)



*Volumes em milhões de litros

Em cada planta de rerrefino, a mistura dos volumes de OLUC coletados é direcionada para o processo de recuperação, que pode envolver diversas etapas e tecnologias distintas. Em 2016, os rerrefinadores declararam ter direcionado 420 milhões de litros de OLUC ao processo de rerrefino, com a produção líquida de cerca de 249 milhões de litros de óleo básico rerrefinado dos grupos I e II. O volume total produzido de óleo básico rerrefinado representa 21,8% dos 1,14 bilhões de litros de óleo básico consumido pelos produtores de óleo lubrificante acabado autorizados pela ANP em seus processos produtivos de lubrificantes e graxas em 2016. Isso significou um rendimento médio de 59% (v/v) em óleo básico. De acordo com os dados da ANP (BRASIL, 2017a), no ano de 2016 o maior rendimento desenvolvido por um rerrefinador foi de 70,21%, e o menor foi de apenas 3,43%. Cinco dos 15 rerrefinadores apresentaram rendimento acima da média nacional. Na outra ponta, os cinco piores rendimentos estiveram abaixo de 50%.

O rendimento é um parâmetro muito importante para uma planta industrial dessa natureza, já que ela está diretamente ligada à rentabilidade do negócio. Uma vez que grande esforço é depositado na coleta, é esperado que esse volume de OLUC seja tratado com a menor geração de resíduos possível e, quanto menor o rendimento, maior será a geração de resíduos líquidos (por exemplo água contaminada), sólidos (borra ácida) ou gasosos (gás carbônico, etc.). Os objetivos da política ambiental de logística reversa são apenas parcialmente atendidos quando predominam plantas de baixo rendimento em óleo básico. O OLUC que é recolhido deixa de contaminar ambientes espalhados por todo o Brasil e é concentrado em plantas de rerrefino. A partir daí, em plantas de baixo rendimento, esse OLUC geraria outros tipos de rejeitos, de maneira concentrada.

Esse é um ponto crítico a ser observado pelos órgãos de fiscalização do setor, notadamente ANP e órgãos ambientais. O país definiu que o rerrefino é o destino prioritário para a alienação do OLUC em seu território (BRASIL, 2005), principalmente porque essa categoria de processos se destina a conferir ao resíduo as mesmas características do óleo básico. Por outro lado, a existência de unidades de rerrefino com rendimentos tão baixos na produção de óleo básico é incongruente com os objetivos da política ambiental. Assim, o rendimento poderia ser utilizado como um vetor para a fiscalização – plantas com rendimento mais baixo deveriam ter seus processos industriais revisados pelos órgãos ambientais e pelo órgão da indústria do petróleo que autorizam seu funcionamento.

4.4 PERSPECTIVAS

No programa de logística reversa instituído pela Resolução CONAMA nº 362/2005, MMA e MME têm atribuição de estabelecer, em conjunto, as metas mínimas de coleta de lubrificantes. O que temos visto é uma atuação consistente no sentido de elevar as metas regionais e nacional para o patamar de 42%, que vem se mantendo constante para a região Sudeste desde o estabelecimento das primeiras metas, em 2008. Esse cenário é esperado no mínimo até 2019, período com metas já estabelecidas através da Portaria Interministerial MME/MMA nº 100/2016.

Em 2019 entra em pauta a discussão das metas para o quadriênio 2020-2023. Em um cenário hipotético de crescimento de 1,69% do mercado de lubrificantes, igual

ao crescimento médio observado no período 2003-2017 (como apontado na seção 3.2), e caso a meta de coleta nacional estabelecida para o ano de 2023 chegue a ser de 42%, o volume coletado de OLUC em 2023 deveria ser no mínimo de 489,4 milhões de litros, um crescimento médio de 2,14%a.a. a partir de 2017. Esse crescimento seria ainda inferior ao nível médio de crescimento do produto interno bruto estimado pela EPE de 2,5%a.a. no decênio 2017-2026 (BRASIL, 2016). Em um cenário de crescimento do mercado de lubrificantes nesse ritmo estimado para o PIB (2,5%a.a.) e mantida a meta de 42%, em 2023 seria necessária coleta de 513,2 milhões de litros de OLUC, representando um crescimento de 2,95%a.a. para o mercado de coleta.

Há também grande expectativa quanto à implantação de um **acordo setorial** para a logística reversa de lubrificantes. A Lei Federal nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelece que é uma obrigação dos agentes do mercado de lubrificantes a estruturação e implantação de um sistema de logística reversa, como segue (BRASIL, 2010):

> Art. 33. São obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de:
>
> [...]
>
> IV - óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;
>
> [...]
>
> § 1º Na forma do disposto em regulamento ou em acordos setoriais e termos de compromisso firmados entre o poder público e o setor empresarial, os sistemas previstos no caput serão estendidos a produtos comercializados em embalagens plásticas, metálicas ou de vidro, e aos demais produtos e embalagens, considerando, prioritariamente, o grau e a extensão do impacto à saúde pública e ao meio ambiente dos resíduos gerados.

Essa mesma Lei prevê que uma das formas de implementar esse tipo de sistema de logística reversa são os acordos setoriais, conforme definido no art 3º, I e demais dispositivos. Um acordo setorial é um tipo de contrato firmado entre o poder público e os agentes envolvidos no ciclo de vida do resíduo, e dispõe como será o tratamento dado ao resíduo em cada uma das etapas desse ciclo de vida e responsabilidades de cada parte. Nesse sentido, um acordo setorial pode ser entendido como uma instrumentalização dos princípios da responsabiliade

compartilhada e de “poluidor-pagador” compreendidos na PNRS (MACHADO, 2012). Acordos setoriais de diversos sistemas de logística reversa estão em implantação, como de lâmpadas fluorescentes (MOURÃO; SEO, 2012) e eletroeletrônicos e seus componentes (DEMAJOROVIC; MIGLIANO, 2013). O próprio mercado de lubrificantes já tem experiência com um acordo setorial para coleta das embalagens plásticas, sob gestão do Instituto Jogue Limpo e tem como signatários as instituições que representam os agentes do setor, como Plural e Simepetro (GALESKI JR.; RODRIGUES, 2017).

A Plural já protocolou junto ao Ministério de Meio Ambiente uma proposta de acordo setorial, que está em discussão e deve prever um modelo semelhante ao do já implementado para o sistema de logística reversa de embalagens, com a figura de um gestor integrado. Antes de serem aprovados, os termos do acordo devem passar pelo escrutínio da sociedade em um processo de consulta pública (MMA, 2016). Esse deve ser um tema de intenso debate nos próximos anos, principalmente após a publicação do Decreto nº 9177/2017 que determina que mesmo aqueles agentes que não forem signatários do acordo setorial firmado com a União são obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, consideradas as mesmas obrigações imputáveis aos signatários e aos aderentes de acordo setorial firmado com a União. Ou seja, mesmo que seja assinado um acordo setorial para a logística reversa de lubrificantes, não deixa de existir a responsabilidade pelo resíduo compartilhada entre todos os agentes do setor, signatários ou não (BRASIL, 2017c).

5. CONCLUSÕES

5 CONCLUSÕES

No mercado brasileiro, os lubrificantes básicos são especificados pela ANP e a qualidade dos óleos lubrificantes acabados é acompanhada pelo PML, que compara as características de produtos encontrados no mercado com os dados informados pelo fabricante à época do seu registro. 19% das amostras analisadas pelo PML em 2016 apresentaram alguma não conformidade. Como a coleta de amostras não é aleatória, esse número não retrata bem a situação encontrada pelo consumidor. Para corrigir essa distorção, é utilizado um índice de qualidade ponderado pelo *market-share* de cada empresa (IQP), que mostrou mais de 98% de conformidade no final de 2017, como mostrado no capítulo 2.

Para exercer as atividades de produção e importação de óleo lubrificante acabado, é necessária autorização da ANP. De acordo com as autorizações dessa agência, a infraestrutura produtiva no Brasil está bastante concentrada na região Sudeste, em especial nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, como mostrado no capítulo 3.

No ano de 2017, foram comercializados 1,28 bilhões de litros de óleo lubrificante por produtores e importadores, dos quais mais de ¾ pode ser classificado como de uso automotivo. Isso representa cerca de 6,1 litros/habitante, 1 litro a mais que a média mundial apurada em 2015. O mercado brasileiro cresceu, em base volumétrica, algo em torno de 1,69% a.a. (CAGR) nos últimos 14 anos, notadamente abaixo do crescimento do PIB no período, fato que foi atribuído à própria alteração tecnológica em curso no mercado, em especial nas aplicações automotivas, que passaram a exigir, cada vez mais, lubrificantes que suportam maior carga com maior intervalo entre as trocas, como apontado no capítulo 3. Nesse sentido, a migração da demanda de óleos básicos do grupo I para aqueles dos grupos II e III deve persistir nos próximos anos. No mercado veicular brasileiro, marcado por crescente presença de biocombustíveis, merece também destaque a busca pelo desenvolvimento de lubrificantes voltados para maior teor de biodiesel no diesel.

Ainda no capítulo 3, apurou-se que, do lado da oferta de óleo lubrificante básico, 52% do volume utilizado na produção de lubrificantes acabados e graxas vem de refinarias nacionais e 17% vem do rerrefino de óleo lubrificante usado ou contaminado (OLUC), sendo o restante complementado por produto importado, vindo

principalmente dos Estados Unidos. O cenário de dependência externa tende a manter-se ou ampliar-se, uma vez que não há previsão de novos investimentos em refinarias voltadas para produção nacional de lubrificantes.

Ao óleo básico, os produtores adicionam aditivos, em uma proporção que foi estimada de 10,7% de aditivação, em base volumétrica de produto final. O mercado de produção/importação de óleo lubrificante acabado foi caracterizado como pouco concentrado, com IHH de 1.163. Se comparado com o IHH de 1.626 no ano de 1996, percebe-se que houve desconcentração do mercado nas últimas duas décadas, fato que é em parte atribuído à abertura de mercado promovida no final da década de 1990. Finalmente, o lado do consumo caracteriza-se por enorme pulverização, sendo que os pontos de troca de óleo preferidos dos consumidores são, em ordem decrescente, oficinas, postos de gasolina e concessionárias.

O OLUC é considerado um produto perigoso pelos normativos brasileiros e seu reaproveitamento deve ser realizado prioritariamente pelo rerrefino, única destinação legamente aceita. A logística reversa de lubrificantes passou por diversas fases no Brasil, desde a década de 1960 até o modelo atual, de motivação ambiental, que adota o conceito de poluidor-pagador. Nesse modelo, o produtor/importador deve negociar diretamente com os coletores de OLUC um valor a ser pago para a coleta do resíduo gerado no consumo, em quantidade equivalente ao volume de óleo acabado que colocou no mercado e conforme metas anuais progressivas estabelecidas pelo governo. O trabalho aponta a necessidade de revisão das metas anuais de coleta a partir de 2020, que devem tender a se aproximar em todas as regiões para o patamar atualmente vigente de 42% na região sudeste, levando em conta as atuais diferenças regionais e a capacidade ociosa do rerrefino nacional.

Atualmente, há cerca de 22 coletores e 15 rerrefinadores autorizados pela ANP. Esses agentes foram responsáveis pela coleta e destinação de 431 milhões de litros de OLUC por ano, ou 2,04 litros/habitante, provenientes de mais de 120 mil pontos de coleta, localizados em 4.188 municípios brasileiros de um total de 5.570 (75,2%). Apesar de a legislação tratar de maneira separada as atividades de coleta e rerrefino, observa-se que há grande integração vertical nas empresas setor, visto que, dos 15 rerrefinadores, 14 são também coletores e 9 deles são também autorizados a produzir lubrificantes acabados, conforme capítulo 4. Em 2016, o rendimento médio do rerrefino brasileiro se situou em 59% (v/v) em óleo básico, com grandes

disparidades entre rerrefinadores, sendo o maior rendimento registrado em 70,2% (v/v).

Os dados do Simp/ANP permitiram maior detalhamento nas informações de coleta de OLUC, que podem ser visualizadas por município. Observa-se maior volume absoluto coletado nas regiões metropolitanas das capitais brasileiras, em especial aquelas do Centro-Sul. Não obstante, é próximo das capitais que se localizam a maioria das bases de coleta e armazenagem de OLUC. Além disso, o estado de São Paulo concentra 8 das 15 rerrefinarias, que buscam se localizar próximas da matéria prima, OLUC, e do mercado consumidor de óleo básico.

Os municípios da região Sudeste geram maior volume de coleta que os municípios das regiões Sul e Centro-Oeste, que por sua vez geram mais OLUC que os municípios das regiões Nordeste e Norte. Na média de volumes per capita, a região Sul é a que tem o melhor indicador, com 3,01 litros de OLUC coletado/habitante, seguida por Centro-Oeste, com 2,75, Sudeste com 2,45, Norte com 1,43 e finalmente a região Nordeste com 0,90 litros de OLUC coletados por habitante. Fatores geográficos, tecnológicos, regulatórios e de consciência ambiental interagem para que as regiões Norte e Nordeste apresentem coletas proporcionalmente menores e a intensificação da coleta depende do reforço da rede logística atualmente implementada nessas regiões, mas cujas disparidades tendem a diminuir com o avanço das metas compulsórias dessas regiões, conforme explicado no capítulo 4. Mais adiante, deve ser observada a evolução de um acordo setorial para substituir o sistema de metas compulsórias, provavelmente acompanhado de teste regionais progressivos para atestar a viabilidade de um novo modelo.

Merecem destaque as perspectivas apontadas para os próximos anos. Dentre elas, a continuidade da migração da demanda de óleos básicos do grupo I para aqueles dos grupos II e III; o desenvolvimento de lubrificantes voltados para maior presença de biodiesel no diesel brasileiro; o aumento da dependência externa de lubrificantes básicos, em um cenário sem grandes investimentos da Petrobras ou dos rerrefinadores; a revisão das metas anuais de coleta a partir de 2020; e a proposta de acordo setorial com gestor integrado para substituir a atual sistemática de contratação direta. Nesse sentido, são bem-vindos quaisquer trabalhos que se aprofundem nesses temas.

REFERÊNCIAS

ABNT **NBR 10004:2004:** Resíduos sólidos - Classificação. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004, http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=936.

_____ **NBR 8371:2005:** Ascarel para transformadores e capacitadores - Características e riscos. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005, http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=943.

_____ **NBR 14157:** Óleos lubrificantes — Determinação da perda por evaporação pelo método Noack. Parte 1(2007): Utilizando a Liga de Woods. Parte 2(2007): Não Utilizando a Liga de Woods. Parte 3(2013): Selby-Noack. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007/2013, http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=196428.

_____ **NBR 14172:2009** Óleos derivados de petróleo e fluidos sintéticos - Determinação das características de emulsão. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009a, http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=51919.

_____ **NBR 9842:2009:** Produtos de petróleo - Determinação do teor de cinzas. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009b, http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=40169.

_____ **NBR 14358:2012:** Produtos de petróleo — Cálculo do índice de viscosidade a partir da viscosidade cinemática. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012, http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=91317.

_____ **NBR 16358:2015:** Óleos lubrificantes - Determinação de água por crepitação. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015, http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=331068.

AIA **NAS 1638:** Cleanliness requirements of parts used in Hydraulic systems. Aerospace Industries of America, Washington D.C., USA, 2001, https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?&csf=AIA&input_doc_number=1638&input_doc_title=&org_code=AIA%2FNAS&document_name=NAS1638&item_s_key=00079297&item_key_date=880009&origin=DSSC#abstract-section.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Superintendência de Biocombustíveis e Qualidade de Produtos.
. **Relatório final da avaliação de impacto regulatório referente ao registro de óleos lubrificantes - revisão da Resolução ANP Nº 10/2007**. Nota Técnica n. º 86/2013/CPT/DF. 2013

_____. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Superintendência de Biocombustíveis e Qualidade de Produtos. Centro de Pesquisas e Análises Tecnológicas. **Panorama dos óleos básicos no Brasil**. Relatório técnico Nº 2/2016/SBQ/CPT – DF. 2016

_____. Reaproveitamento de óleo usado ou contaminado. 2017a. Disponível em: < http://www.anp.gov.br/wwwanp/distribuicao-e-revenda/lubrificantes/reaproveitamento-de-oleo-usado-ou-contaminado >. Acesso em: 04/02/2018.

_____. Seminário de Avaliação de Combustíveis. 2017b. Disponível em: < http://www.anp.gov.br/images/Palestras/seminario_avaliacao_2018.pdf >. Acesso em: 26/06/2018.

_____. Dados estatísticos. 2018. Disponível em: < http://www.anp.gov.br/dados-estatisticos >. Acesso em: 24/06/2018.

ANTUNES, A. P. **Integração vertical na indústria de petróleo: Ainda a melhor opção?** 2014. 84 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Administração de Empresas). Programa de Pós-Graduação em Administração de Empresas, Pontifícia Universidade Católica (PUC-Rio), Rio de Janeiro.

API **1509:** Engine Oil Licensing and Certification System. American Petroleum Institute (API), 2012, http://www.api.org/products-and-services/engine-oil/eolcs-categories-and-documents/documents/api-1509-documents.

_____. API Introduces Two New Diesel Engine Oil Standards, API Service Categories CK-4 And FA-4. 2017. Disponível em: < http://www.api.org/products-and-services/engine-oil/eolcs-categories-and-classifications/latest-oil-categories >. Acesso em: 25/06/2018.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. Série Histórica de Licenciamento de Veículos. **Estatísticas**, São Paulo-SP, 2018. Disponível em: < http://www.anfavea.com.br/docs/SeriesTemporais.zip >. Acesso em: 23/06/2016.

ASTM **D1401-12e1:** Standard Test Method for Water Separability of Petroleum Oils and Synthetic Fluids. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012, www.astm.org.

_____ **D7419 - 13:** Standard Test Method for Determination of Total Aromatics and Total Saturates in Lube Basestocks by High Performance Liquid Chromatography (HPLC) with Refractive Index Detection. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013, www.astm.org.

_____ **D974-14e2:** Standard Test Method for Acid and Base Number by Color-Indicator Titration. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org.

_____ **D6074-15:** Standard guide for characterizing hydrocarbon lubricant base oils. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org.

_____ **D2270-10:** Standard Practice for Calculating Viscosity Index from Kinematic Viscosity at 40 °C and 100 °C. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016a, www.astm.org.

_____ **D6304-16e1:** Standard Test Method for Determination of Water in Petroleum Products, Lubricating Oils, and Additives by Coulometric Karl Fischer Titration. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016b, www.astm.org.

_____ **D664-11a:** Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org.

AYRES, A. P. S. **Gestão de Logística E Operações**. IESDE Brasil SA, 2009. 316p. ISBN 9788538702023.

BALLOU, R. H. The Evolution and Future of Logistics and Supply Chain Management. **European Business Review,** v. 19, n. 4, p. 332-348, 2007.

_____. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos / Logística Empresarial**. 5. ed. Bookman, 2009. ISBN 9788560031467.

BANCO MUNDIAL. GDP (constant LCU). 2018. Disponível em: < https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KN?end=2016&locations=BR&start=1960 >. Acesso em: 23/06/2018.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **O papel do BNDES no desenvolvimento do setor automotivo brasileiro**. BNDES 60 anos: perspectivas setoriais. BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. Rio de Janeiro. v.1 2012.

BANNISTER, K. E. **Lubrication for Industry**. 1 ed. Nova York: Industrial Press, 1996. ISBN 9780831130619.

BART, J. C. J.; GUCCIARDI, E.; CAVALLARO, S. **Biolubricants: Science and Technology**. Elsevier Science, 2012. ISBN 9780857096326.

BASAR, P. Challenges in Formulating Higher Performing HD Lubricants for Use with Biodiesel. In: AEA, IX International Symposium for Lubricants, Additives, and Fluids, 2016. São Paulo. Lubrizol Additives. Disponível em: < http://www.aea.org.br/downloads/2016/Lubrificantes/palestras/Ht72JiWm0R.pdf >.

BELMIRO, P.; CARRETEIRO, R. **Lubrificantes e Lubrificaçao Industrial**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. ISBN 9788571931589.

BELMIRO, P. N. Mercado Brasileiro de Lubrificantes: Crescimento de 8,3% surpreende em tempos difíceis. **LUBES em Foco**, Ano VII, n. 41, fev/mar 2014.

_____. PML de volta: Um mercado com Qualidade. **LUBES em Foco**, Ano X, n. 58, dez/jan 2017.

BORGES NETO, W. **Parâmetros de Qualidade de Lubrificantes e Óleo de Oliva através de Espectroscopia Vibracional, Calibração Multivariada e Seleção de Variáveis**. 2005. 130 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Química Analítica). Departamento de Química Analítica, Unicamp

BRASIL. Conselho Nacional do Petróleo (CNP). **Regulamenta o abastecimento nacional de petróleo, de que trata o art. 3º da Lei nº 2.004, de 3 de outubro de 1953, no que diz respeito à indústria do rerrefino de óleo lubrificante usado.** Resolução CNP nº 6, de 21.5.1963 - 1190ª Sessão Ordinária - DOU 28.5.1963. 1963

_____. Conselho Nacional do Petróleo (CNP). **Cria e regulamenta a atividade de Coletor-Revendedor de óleo Lubrificante Usado ou Contaminado e dá outras providências.** Resolução CNP nº 17, de 29.11.1977 - 361ª Sessão Extraordinária - DOU 15.12.1977. 1977a

_____. Conselho Nacional do Petróleo (CNP). **Regulamenta o exercício da atividade industrial de rerrefino de Óleos Lubrificantes Usados ou Contaminados.** Resolução CNP nº 18, de 29.11.1977 - 361ª Sessão Extraordinária - DOU 15.12.1977 - Retificada DOU 6.10.1978. 1977b

_____. Conselho Nacional do Petróleo (CNP). **Dispõe sobre o recolhimento, armazenagem, alienação e o exercício da atividade industrial de Re-refino de óleos Lubrificantes Minerais Usados ou Contaminados, o comércio dos óleos basicos refinados e da outras providências.** Resolução CNP nº 2, de 21.2.1985 - 624ª Sessão Extraordinária - DOU 4.3.1985. 1985

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Regulamentação do recolhimento, destinação e reciclagem dos óleos lubrificantes usados**. Resolução CONAMA nº 9, de 31.8.1993 – DOU 1º.10.1993. 1993

_____. Ministério da Fazenda (MF) e Ministério de Minas e Energia (MME). **Define preços máximos de faturamento de óleos lubrificantes básicos nas unidades produtoras serão referenciados aos praticados no mercado internacional.** Portaria Interministerial MF/MME nº 210, de 29.8.1997 - DOU 1º.9.1997. 1997a

_____. Departamento Nacional de Combustíveis (DNC). **Dispensa anuência prévia, por parte do Departamento Nacional de Combustíveis, para importação e exportação, as graxas lubrificantes e os lubrificantes básicos e acabados de origem mineral e semi-sintéticos.** Portaria DNC nº 34, de 8.8.1997 - DOU 28.8.1997. 1997b

_____. Ministério da Fazenda (MF) e Ministério de Minas e Energia (MME). **Fica sujeito ao regime de preços liberados, de que trata o art. 4º, inciso III, da Portaria MF nº 463/91, os preços máximos dos óleos lubrificantes básicos, nas unidades produtoras.** Portaria Interministerial MF/MME nº 342, de 22.12.1997 - DOU 22.12.1997 - Retificada DOU 8.1.1998. 1997c

_____. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo (ANP). **Estabelece definições para rerrefino e coleta de óleos lubrificantes usados ou contaminados.** Portaria ANP nº 133, de 4.7.1998 - DOU 8.9.1998. 1998

_____. Ministério de Minas e Energia (MME) e Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Atribui ao produtor, ao importador, ao revendedor e ao consumidor final de óleo lubrificante acabado a responsabilidade pelo recolhimento de óleo lubrificante usado ou contaminado.** Portaria Interministerial MME/MMA nº 1, de 29.7.1999 – DOU 30.7.1999. 1999a

_____. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo (ANP). **Estabelece a obrigatoriedade do registro prévio do produto na ANP para a comercialização de óleos lubrificantes, graxas lubrificantes e aditivos em frasco para óleos lubrificantes de aplicação automotiva, fabricado no país ou importados, a granel ou embalados, de origem mineral, vegetal ou sintética.** Portaria ANP nº 131, de 30.7.1999 - DOU 2.8.1999 - Republicada DOU 30.9.1999 e 28.4.2000. 1999b

_____. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo (ANP). **Estabelece a regulamentação para a atividade de coleta de óleo lubrificante usado ou contaminado a ser exercida por pessoa jurídica sediada no País, organizada de acordo com as leis brasileiras.** Portaria ANP Nº 127, de 30.7.1999 - DOU 2.8.1999 - Republicada DOU 30.9.1999 e 28.4.2000. 1999c

_____. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo (ANP). **Estabelece a regulamentação para a atividade de produção ou importação de óleo lubrificante acabado a ser exercida por pessoa jurídica sediada no País, organizada de acordo com as leis brasileiras.** Portaria ANP Nº 126, de 30.7.1999 - DOU 2.8.1999 - Republicada DOU 30.9.1999 e 28.4.2000. 1999d

_____. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo (ANP). **Estabelece a regulamentação para a atividade de recolhimento, coleta e destinação final do óleo lubrificante usado ou contaminado.** Portaria ANP Nº 125, de 30.7.1999 - DOU 2.8.1999 - Republicada DOU 30.9.1999 e 28.4.2000. 1999e

_____. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo (ANP). **Estabelece a regulamentação para a atividade industrial de rerrefino de óleo lubrificante usado ou contaminado a ser exercida por pessoa jurídica sediada no País, organizada de acordo com as leis brasileiras.** Portaria ANP Nº 128, de 30.7.1999 - DOU 2.8.1999 - Republicada DOU 28.4.2000. 1999f

_____. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo (ANP). **Estabelece o Regulamento Técnico ANP nº 04/99, que especifica os óleos lubrificantes básicos de origem nacional ou importado para comercialização em território nacional.** Portaria ANP nº 129, de 30.7.1999 - DOU 2.8.1999 - Republicada DOU 30.9.1999. 1999g

_____. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo (ANP). **Estabelece o Regulamento Técnico ANP nº 05/99, que especifica os óleos lubrificantes básicos rerrefinados.** Portaria ANP nº 130, de 30.7.1999 - DOU 2.8.1999. 1999h

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Estabelece diretrizes para o recolhimento e destinação de óleo lubrificante usado ou contaminado**. Resolução CONAMA nº 362, de 23.6.2005 – DOU 27.6.2005. 2005

_____. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Estabelece que a comercialização e importação de óleos e graxas lubrificantes para uso automotivo e industrial, de qualquer origem, e aditivos em frascos para óleos lubrificantes acabados automotivos destinados ao consumidor final, fabricados no País ou importados, está condicionada ao prévio registro do produto na Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP.** Resolução ANP Nº 10, de 7.3.2007 – DOU 9.3.2007. 2007

_____. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Especificações dos óleos minerais isolantes tipo A e tipo B**. Resolução ANP Nº 36, de 5.12.2008 - DOU 8.12.2008. 2008

_____. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Estabelece as regras para a comercialização de óleo lubrificante básico e os requisitos necessários ao cadastramento de produtor e de importador desse produto.** Resolução ANP Nº 16, DE 18.6.2009 - DOU 19.6.2009 – retificada DOU 31.8.2009. 2009a

_____. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Estabelece os requisitos necessários à autorização para o exercício da atividade de importação de óleo lubrificante acabado, e a sua regulação.** Resolução ANP Nº 17, DE 18.6.2009 - DOU 19.6.2009 – retificada DOU 31.8.2009. 2009b

_____. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Estabelece os requisitos necessários à autorização para o exercício da atividade de produção de óleo lubrificante acabado, e a sua regulação.** Resolução ANP Nº 18, DE 18.6.2009 - DOU 19.6.2009 – retificada DOU 31.8.2009. 2009c

_____. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. 2010

_____. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Especificação do óleo diesel de uso não rodoviário**. Resolução ANP Nº 45, de 20.12.2012 - DOU 21.12.2012. 2012

_____. LEI Nº 13.033, de 24 de setembro de 2014. **Dispõe sobre a adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel comercializado com o consumidor final;**

altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 8.723, de 28 de outubro de 1993; revoga dispositivos da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005; e dá outras providências. DOU de 25 de setembro de 2014

_____. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Estabelece os critérios de obtenção do registro de graxas e óleos lubrificantes destinados ao uso veicular e industrial e aditivos em frasco para óleos lubrificantes de motores automotivos, bem como as responsabilidades e obrigações dos detentores de registro, produtores e importadores.** Resolução ANP n. 22, de 11.4.2014 - DOU 14.4.2014 – retificada DOU 15.9.2014. 2014b

_____. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. MME/EPE 2016

_____. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Boletim de Lubrificantes**. nº 1 Ano 1. Superintendência de Abastecimento - SAB 2017a

_____. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Estabelece as especificações dos óleos básicos e suas regras de comercialização.** Resolução ANP Nº 669, DE 17.2.2017 - DOU 20.2.2017 - republicada DOU de 9.3.2017 - retificada DOU 23.3.2017. 2017b

_____. **Regulamenta o art. 33 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, e complementa os art. 16 e art. 17 do Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010 e dá outras providências.** Decreto Nº 9.177, de 23 de outubro de 2017. 2017c

_____. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Boletim de Lubrificantes**. nº 11 Ano 2. Superintendência de Distribuição e Logística - SDL 2018a

_____. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Boletim Programa de Monitoramento de Lubrificantes** Março de 2018. número 1. Superintendência de Biocombustíveis e Qualidade de Produtos - SBQ 2018b

BRUNETTI, F. **Motores de Combustão Interna**. EDGARD BLUCHER, 2012. ISBN 9788521207085.

CAMPELLO, M. L. **INFLUÊNCIA DO BIODIESEL NA ESTABILIDADE TERMO - OXIDATIVA DO LUBRIFICANTE**. 2014. 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Programa de pós-graduação em tecnologia de processos químicos e bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

COMPER, I. C.; SOUZA, F. O.; CHAVES, G. D. L. D. Caracterização e desafios da logística reversa de óleos lubrificantes. **Revista em Gestão, Inovação e Sustentabilidade,** v. 2, n. 1, p. 131-155, 2016.

CORRÊA, J. S. **Parque industrial de refino no Brasil – características atuais e perspectivas futuras**. 2009. 179 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

DE MATOS, P. R. R. **Utilização de óleos vegetais como bases lubrificantes**. 2011. 102 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade de Brasília, Brasília.

DEAN, E. W.; DAVIS, G. H. B. Viscosity variations of oils with temperature. **Chemical and Metallurgical Engineering,** v. 36, p. 618, 1929.

DEMAJOROVIC, J.; MIGLIANO, J. E. B. Política nacional de resíduos sólidos e suas implicações na cadeia da logística reversa de microcomputadores no Brasil. **Gestão & Regionalidade (Online),** v. 29, n. 87, 2013.

DO BRASIL, N. I.; ARAÚJO, M. A. S.; DE SOUZA, E. C. M. **Processamento de Petróleo e Gás**. Rio de Janeiro: LTC, 2012. ISBN 9788521619963.

DOS REIS, M. A.; JERONIMO, M. S. Waste lubricating oil rerefining by extraction-flocculation. 1. A scientific basis to design efficient solvents. **Industrial & Engineering Chemistry Research,** v. 27, n. 7, p. 1222-1228, 1988.

DUGMORE, T. I. J.; STARK, M. S. Effect of biodiesel on the autoxidation of lubricant base fluids. **Fuel,** v. 124, p. 91-96, 2014.

DUQUE, J. F.; MOREIRA, R. C. G. G. S.; DUTRA, R. C. D. **CENÁRIO ATUAL DO MERCADO BRASILEIRO DE LUBRIFICANTES: ESTRUTURA, INDICADORES E LOGÍSTICA REVERSA**. Panorama do abastecimento de combustíveis: 2017 DUTRA, R. C. D. Rio de Janeiro: Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis. 1 2017.

EI **IP 346:** Determination of polycyclic aromatics in unused lubricating base oils and asphaltene free petroleum fractions - Dimethyl sulphoxide extraction refractive index method. Energy Institute, 1992, http://publishing.energyinst.org/ip-test-methods/full-list-of-ip-test-methods-publications/ip-346-determination-of-polycyclic-aromatics-in-unused-lubricating-base-oils-and-asphaltene-free-petroleum-fractions-dimethyl-sulphoxide-extraction-refractive-index-method.

FARAH, M. A. **Petróleo e seus derivados**. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 261 ISBN 9788521620525.

FERNANDES, C. N.; TAGLIALENHA, S. L. S.; SCHUELTER, L. M. Logística Reversa de Óleos Lubrificantes Automotivos Usados. **Novos Saberes - Revista do Centro Universitário Católica de Santa Catarina,** v. 3, n. 1, p. 2-19, 2016.

FOX, R. W.; PRITCHARD, P. J.; MCDONALD, A. T. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 7 ed. LTC, 2010. ISBN 9788521617570.

FUENTES, M. J. et al. Pyrolysis and combustion of waste lubricant oil from diesel cars: Decomposition and pollutants. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis,** v. 79, n. 1, p. 215-226, 2007.

GALESKI JR., I.; RODRIGUES, A. Acordos Setoriais valem também para não signatários. **LUBES em Foco**, Ano X, n. 63, out/nov 2017.

GOSALIA, A. Data, Digitalization, Decarbonization – Do Disruptions Damage Durability? , 22nd ICIS World Base Oils & Lubricants Conference, 2018. Londres. Disponível em: < https://www.fuchs.com/fileadmin/Home/Nachhaltigkeit/Praesentation_Konferenzen/ICIS_London_2018_Apu_Gosalia.pdf >. Acesso em: 03/07/2018

GRIFFIN, H. K. Density of a Lubricating Oil at Temperatures from −49° to +20° C. **Industrial & Engineering Chemistry,** v. 17, n. 11, p. 1157-1158, 1925.

GUIMARÃES, J. **Rerrefino de Óleos Lubrificantes de Motores de Combustão Interna Utilizando o Processo de Ultrafiltração e Adsorção**. 2006. 83 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Ambiental). Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

HAMDAN, S. H. et al. A study of the tribological impact of biodiesel dilution on engine lubricant properties. **Process Safety and Environmental Protection,** v. 112, p. 288-297, 2017.

HOLWEGER, W. Fundamentals of Lubricants and Lubrication. In: GEGNER, J. (Ed.). **Tribology - Fundamentals and Advancements**. Rijeka: InTech, 2013. p.Ch. 01.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Diretoria de Pesquisas (DPE)
Coordenação de População e Indicadores Sociais (COPIS). **Estimativas populacionais para os municípios e para as Unidades da Federação brasileiros em 01.07.2017**. D.O.U de 30 de agosto de 2017. 2017

_____. PIB avança 1,0% em 2017 e fecha ano em R$ 6,6 trilhões. online, 01/03/2018 2018. Disponível em: < https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2013-agencia-de-noticias/releases/20166-pib-avanca-1-0-em-2017-e-fecha-ano-em-r-6-6-trilhoes.html >.

ISO **ISO 4406:2017:** Hydraulic fluid power — Fluids — Method for coding the level of contamination by solid particles. 2017, https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:4406:ed-3:v1:en.

JONES, D. S. J.; PUJADÓ, P. R. **Handbook of Petroleum Processing**. 1ed. Dordrecht, Holanda: Springer, 2006. ISBN 9781402028199.

LEANDRO, T. M. **Metodologia sustentável e econômica para lubrificação de frotas de ônibus**. 2014. 123 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Transportes). Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.

LEITE, P. R. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade**. Pearson Prentice Hall, 2003. ISBN 9788587918628.

MACHADO, P. A. L. Princípios da política nacional de resíduos sólidos. **Revista do Tribunal Regional Federal da 1ª Região**, 2012.

MANG, T.; GOSALIA, A. Lubricants and Their Market. In: DRESEL, W. e MANG, T. (Ed.). **Lubricants and Lubrication**. 3 ed. Weinheim: Wiley, 2017. cap. 1,

MARTINS, J. M. M. **Motores de combustão interna**. Publindústria, 2006. ISBN 9789728953027.

MELO, M. L. S. **Avaliação da Qualidade dos Óleos Básicos Rerrefinados Brasileiros e a Determinação de Metais por Espectrometria de Fluorescência de Raios X**. 2015. 154 p. Tese (Doutorado em Ciências). Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade de Brasília, Brasília.

MIELNIK, O. O mercado do petróleo: oferta, refino e preço. **FGV Projetos**, n. 15, p. 69 fls., 2012.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. Alice Web 2 - Consulta Importação 2018. Disponível em: < http://aliceweb.mdic.gov.br//consulta-ncm/consultar >. Acesso em: 26/06/2018.

MMA. Ministério de Meio Ambiente. **Relatório para o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), conforme exigência do Artigo 9º da Resoluções CONAMA nº 362/2005 e 450/2012, que dispõe sobre o recolhimento, coleta e destinação final de óleos lubrificantes usados ou contaminados (OLUC)**. Coleta de óleo lubrificante usado ou contaminado – dados de 2016. 2016

MOBIL. MOBIL DELVAC VIDA LONGA 15W-40. 2018. Disponível em: < http://mobil.moovelub.com/pt-br/veiculos/caminhao/mobil-delvac-vida-longa-15w-40 >. Acesso em: 14/01/2018.

MOREIRA, R. C. G. G. S.; DUQUE, J. F. **ANÁLISE DO MERCADO DE SOLVENTES NO BRASIL**. Panorama do abastecimento de combustíveis: 2016 DUTRA, R. C. D. Rio de Janeiro: Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis 2016.

MOREIRA, R. C. G. G. S. et al. **REGRAS E RESULTADOS DOS LEILÕES DE BIODIESEL NO BRASIL**. Panorama do abastecimento de combustíveis: 2016 DUTRA, R. C. D. Rio de Janeiro: Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis 2016.

MOURÃO, R. F.; SEO, E. S. M. Logística reversa de lâmpadas fluorescentes. **InterfacEHS Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade,** v. 7, n. 3, p. 94-112, 2012.

NAGENDRAMMA, P.; KAUL, S. Development of ecofriendly/biodegradable lubricants: An overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews,** v. 16, n. 1, p. 764-774, 2012.

ORDOÑEZ, R. **Ipiranga e Chevron iniciam 'joint venture' em lubrificantes**. O Globo. online 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. World Population Prospects 2017. 2017. Disponível em: < https://esa.un.org/unpd/wpp/ >. Acesso em: 03/07/2018.

PERRONE, O. V.; SILVA FILHO, A. P. **Processos Petroquímicos**. 1 ed. Rio de Janeiro: Synergia, 2013. ISBN 978-8561325954.

PETRICORENA, T. **Análise técnica, mercadológica e de tendências da industria brasileira de óleos lubrificantes**. 2005. 184 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PIGOU, A. **The Economics of Welfare**. Taylor & Francis, 2017. ISBN 9781351304344.

PINHEIRO, M. D. A. **A EVOLUÇÃO DO SEGMENTO DOS TRANSPORTADORESREVENDEDORES-RETALHISTAS (TRRs) NO BRASIL**. Panorama do abastecimento de combustíveis: 2016 DUTRA, R. C. D. Rio de Janeiro: Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis 2016.

PIRRO, D. M.; WEBSTER, M.; DASCHNER, E. **Lubrication Fundamentals, Third Edition, Revised and Expanded**. CRC Press, 2017. ISBN 9781315359908.

PLURAL. Anuário Plural 2018 - Lubrificantes - Pesquisa Ibope. 2018. Disponível em: < https://anuario2018.somosplural.com.br/pesquisa-ibope/ >. Acesso em: 16/06/2018.

PORTAL LUBES. China elabora suas próprias especificações de óleos para motores diesel. 2018a. Disponível em: < http://portallubes.com.br/2018/06/especificacao-chinesa/ >. Acesso em: 25/06/2018.

_____. O Mercado Brasileiro de Lubrificantes. 2018b. Disponível em: < http://portallubes.com.br/mercado-brasileiro/ >. Acesso em: 27/07/2018.

PORTELLA, T. L. **Logística reversa de óleos lubrificantes no cenário brasileiro**. 2017. 50 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

RENAULT. Ajuda | Manutenção | Renaut Brasil. 2018. Disponível em: < https://www.renault.com.br/ajuda/manutencao.html >. Acesso em: 14/01/2018.

RHOADES, S. A. The herfindahl-hirschman index. **Fed. Res. Bull.,** v. 79, p. 188, 1993.

SAE **J300_201501:** Engine Oil Viscosity Classification. SAE International, 2015, standards.sae.org/j300_201501/.

_____ **J306_201708:** Automotive Gear Lubricant Viscosity Classification. SAE International, 2017a, standards.sae.org/j306_201708/.

_____ **J183_201708:** Engine Oil Performance and Engine Service Classification (Other than "Energy Conserving"). SAE International, 2017b, standards.sae.org/j183_201708/.

SOARES, R. M. **Avaliação técnica, mercadológica e de tendências da utilização de óleos lubrificantes de base vegetal**. 2013. 114 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SOHN, H. **Guia básico: Gerenciamento de óleos lubrificantes usados ou contaminados.** APROMAC. São Paulo: SENAI/SP 2011.

TÁVORA, S. P.; QUELHAS, O. L. G. Óleos lubrificantes usados – Evolução das responsabilidades pela coleta/destinação e alternativas para aplicações: uma contribuição para a tecnologia de produção mais limpa. **Revista Produção On-line,** v. 3, n. 2, 2003.

TEIXEIRA, R. M. Impacto do uso do biodiesel nos lubrificantes. In: AEA, IX International Symposium for Lubricants, Additives, and Fluids, 2016. São Paulo. Ipiranga Produtos de Petróleo. Disponível em: < http://www.aea.org.br/downloads/2016/Lubrificantes/palestras/Q8InT7DYx1.pdf >.

TOTTEN, G. E.; WESTBROOK, S. R.; SHAH, R. J. **Fuels and Lubricants Handbook: Technology, Properties, Performance, and Testing**. ASTM International, 2003. ISBN 9780803120969.

TRISTÃO, J. A. M. et al. **Gestão Ambiental de Resíduos de Óleos Lubrificantes: o Processo de Rerrefino**. XXIX EnANPAD - Encontro da ANPAD. Brasília/DF 2005.

U.S. DEPARTMENT OF JUSTICE & FEDERAL TRADE COMMISSION. Horizontal Merger Guidelines. 2010. Disponível em: < https://www.justice.gov/atr/horizontal-merger-guidelines-08192010 >. Acesso em: 24/06/2018.

VINHADO, F. D. S. **CENTRO DE PESQUISAS E ANÁLISES TECNOLÓGICAS DA ANP: 40 ANOS A SERVIÇO DA GARANTIA DA QUALIDADE DE COMBUSTÍVEIS E DE LUBRIFICANTES NO BRASIL**. Panorama do abastecimento de combustíveis: 2017 DUTRA, R. C. D. Rio de Janeiro: Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis. 1 2017.

APÊNDICE 1

APÊNDICE 1 - TABELAS DE DADOS

Evolução da comercialização nacional de óleos lubrificantes acabados e do volume coletado de OLUC

Fonte: Dados da ANP

Ano	Comercializado (Óleo Acabado)	Dispensado de Coleta (Óleo Acabado)	Comercializado (Base de Cálculo)	Coletado (Ressarcido pelos produtores/ importadores) (OLUC)
2008	1.176.881.339	220.267.741	956.613.598	358.852.840
2009	1.178.266.453	192.203.209	986.063.244	350.922.527
2010	1.260.533.410	221.978.338	1.038.555.072	381.023.800
2011	1.391.993.748	260.641.628	1.131.352.120	405.109.934
2012	1.412.731.489	286.914.151	1.125.817.338	416.607.481
2013	1.566.068.995	319.802.274	1.246.266.721	473.566.724
2014	1.553.746.276	346.082.379	1.207.663.897	449.178.687
2015	1.443.151.853	313.283.866	1.129.867.987	445.811.873
2016	1.228.905.630	187.947.614	1.040.958.016	413.667.412
2017	1.275.587.532	221.839.255	1.053.748.277	431.039.661

Percentuais mínimos de coleta de óleo lubrificante usado ou contaminado legalmente estabelecidos, por região do país, para os anos de 2008 – 2019.

Fonte: Adaptado de Portarias MME/MMA nº464/2007, nº59/2012 e nº100/2016

Ano	Regiões					Brasil
	Nordeste	Norte	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	
2008	19%	17%	27%	42%	33%	33,4%
2009	21%	20%	29%	42%	34%	34,2%
2010	23%	23%	31%	42%	35%	35,0%
2011	25%	24%	31%	42%	35%	35,9%
2012	26%	26%	32%	42%	36%	36,9%
2013	28%	28%	33%	42%	36%	37,4%
2014	30%	30%	34%	42%	37%	38,1%
2015	32%	31%	35%	42%	37%	38,5%
2016	33%	32%	36%	42%	38%	38,9%
2017	34%	33%	36%	42%	38%	39,2%
2018	35%	35%	37%	42%	39%	39,7%
2019	36%	36%	38%	42%	40%	40,1%

Percentuais efetivamente realizados de coleta de óleo lubrificante usado ou contaminado divididos pela base de cálculo da meta (volume comercializado menos volume dispensado de coleta), por região do país, para os anos de 2008 – 2017.

Fonte: Dados de (ANP (2017A); BRASIL (2017A);2018A)) – Site da ANP e Boletins de lubrificantes

Ano	Regiões					Brasil
	Nordeste	Norte	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	
2008	20,43%	19,06%	27,47%	46,71%	36,70%	37,51%
2009	19,06%	20,22%	29,73%	42,69%	38,17%	35,59%
2010	24,04%	24,04%	31,88%	43,16%	35,94%	36,69%
2011	25,36%	24,31%	32,07%	41,45%	35,27%	35,81%
2012	26,60%	26,57%	32,73%	42,56%	37,47%	37,00%
2013	28,51%	28,27%	32,48%	42,25%	41,56%	38,00%
2014	28,19%	30,63%	34,06%	41,74%	38,09%	37,19%
2015	32,72%	31,20%	35,11%	44,15%	40,31%	39,46%
2016	31,79%	34,78%	32,40%	44,29%	35,11%	38,45%
2017	34,77%	35,02%	37,53%	45,66%	39,43%	40,91%