CEFET/RJ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS DE HIDRORREFINO ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA E ANÁLISE DE REDES SOCIAIS

Renata Cristina Teixeira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientadores:
Profª. Cristina Gomes de Souza
Prof. Rafael Garcia Barbastefano

Rio de Janeiro,
Maio de 2014

ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS DE HIDRORREFINO ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA E ANÁLISE DE REDES SOCIAIS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Renata Cristina Teixeira

Aprovada por:

_____

Presidente, Profª. Cristina Gomes de Souza, D.Sc (Orientadora)

_____

Prof. Rafael Garcia Barbastefano, D.Sc (Co-orientador)

_____

Prof. Leonardo Silva de Lima, D.Sc

_____

Prof. Helder Gomes Costa, D.Sc – Universidade Federal Fluminense

Rio de Janeiro,
Maio de 2014

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

T266 Teixeira, Renata Cristina
Análise das tecnologias de hidrorrefino através da utilização de técnicas de prospecção tecnológica e análise de redes sociais / Renata Cristina Teixeira.—2014.
xv, 101f. + apêndice : il.color. , grafs. , tabs. ; enc.

Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2014.
Bibliografia : f. 96-101
Orientadores : Cristina Gomes de Souza
Rafael Garcia Barbastefano

1. Petróleo – Refinação. 2. Indústria petrolífera e tecnologia. 3. Redes sociais. I. Souza, Cristina Gomes de (Orient.). II. Barbastefano, Rafael Garcia (Orient.). III. Título.

CDD 665.53

DEDICATÓRIA

Para Edu, poeta das *valsas invisíveis* e compartilhador de sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus. Agradeço aos meus queridos pais, José Luiz e Maria Leocádia, por todo o esforço para que os meus passos fossem diferentes da tão dura caminhada trilhada por eles. Pelas várias noites de poemas e os diversos livros lidos em conjunto que me transformaram a vida, criando a necessidade por histórias, estudos e pesquisas.

Aos meus orientadores Cristina Souza e Rafael Barbastefano pela dedicação e empenho com o qual me conduziram.

Aos meus professores dessa trajetória no CEFET/RJ, Leonardo Lima, Eduardo Bezerra, Leydervan Xavier, José Antônio Peixoto e Eduardo Ogasawara.

Também a todos os meus professores da graduação na UFMG, em especial aos queridos Renato Rocha e Madalena Martins Naves.

Aos meus colegas e ex-colegas de trabalho na Petrobras que tanto me ensinam e inspiram, em especial, Ana Cristina Eichin, Carla Rocha, Fabiana Almeida, Jorge Cruz, José Luiz Arantes, Maria Helena Braga e Patrícia Guimarães. Como eu poderia ter chegado até aqui sem vocês? Também aos queridos Antônio Cláudio Meyer Sant'Anna e Fernando Baratelli Júnior, que tanto acreditaram em mim e gerenciaram ensinando a não temer desafio algum.

Ao Eduardo Trindade pelas incansáveis horas de debate sobre esse texto, sobre o abastecimento mundial, o desenvolvimento dos motores, a colocação das vírgulas nas orações, a álgebra linear e sobre os mais belos e divertidos livros desse mundo. Foi por tuas mãos que cheguei a *Cem anos de solidão* e aos *Botões de Napoleão*.

Aos meus amigos quase irmãos Renato Guimarães, Daniel Ferreira, Gilda Watkins e Isaura Moreira pelo carinho, afeto e cuidado nos momentos mais difíceis.

À querida *Esquerda Festiva* por ter tornado essa experiência inesquecível: Ana Helena Biscaia, Carlos Zuim, Julina Costa, Leonardo Mosqueira, Maurício Bastos, Nádia Lima, Nayane Caldeira, Patrícia Mattos, Wellington Rocha.

A todos que contribuíram para a realização dessa obra, meus mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS DE HIDRORREFINO ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA E ANÁLISE DE REDES SOCIAIS

Renata Cristina Teixeira

Orientadores:

Profª Cristina Gomes de Souza
Prof. Rafael Garcia Barbastefano

Resumo da Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências.

O petróleo é e continuará sendo nos próximos anos fundamental na matriz energética mundial uma vez que esta é predominantemente baseada em combustíveis de origem fóssil. O hidrorrefino de petróleo consiste em processos nos quais frações de petróleo são tratadas com hidrogênio na presença de catalisadores visando obter vantagens como o melhor aproveitamento de matérias-primas, melhoria da qualidade dos produtos e proteção ambiental através de remoção de poluentes, proporcionando a produção de derivados com maior valor agregado. O objetivo da presente dissertação é analisar a tecnologia de hidrorrefino de modo a identificar sua situação atual, no que se refere a capacidade produtiva e desenvolvimento científico e tecnológico, e apontar expectativas futuras. O estudo foi baseado na utilização de técnicas de prospecção tecnológica e análise de redes sociais, fazendo uso de dados operacionais das refinarias de petróleo e de informações obtidas a partir de artigos científicos e documentos de patentes depositados nos principais escritórios do mundo. Os resultados mostraram: os países com maior quantidade de unidades e capacidade de destilação, bem como os que possuem refinarias com maior índice médio de complexidade; evolução e difusão da tecnologia; principais atores do desenvolvimento científico e tecnológico e relações de colaboração; mercados de interesse; foco das pesquisas; e a estimativa da capacidade de hidrocraqueamento em função da intensidade da pesquisa e desenvolvimento sobre o tema. Esse estudo fornece subsídios aos formuladores de políticas energéticas e tomadores de decisão da indústria de energia.

Palavras-chave:

Hidrorrefino; Refino de Petróleo; Prospecção Tecnológica

Rio de Janeiro,

Maio de 2014

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE HYDROREFINING TECHNOLOGIES THROUGH TECHNOLOGY PROSPECTING AND SOCIAL NETWORK ANALYSIS TECHNIQUES

Renata Cristina Teixeira

Advisors:

Profª Cristina Gomes de Souza

Prof. Rafael Garcia Barbastefano

Abstract of dissertation submited to Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, as partial fulfillmet of the requirements for the degree of Master of Sciences.

Oil is and will remain crucial in the coming years in global energy matrix since this matrix is predominantly based on fossil fuels. Hydrorefining consists of processes in which oil fractions are treated with hydrogen in catalysts presence in order to obtain benefits such as better utilization of raw materials, improving product quality and environmental protection through removal of pollutants, providing production derivatives with higher added value. The objective of this dissertation is to analyze the hydrorefining technologies to identify theirs current situation, regarding production capacity and scientific and technological development, and point out future expectations. The study was based on the use of technology prospecting and social network analysis techniques, making use of operational data from oil refineries and information obtained from scientific articles and patent documents filed in the main patents offices. The results showed: the countries with the highest number of units and distillation capacity, as well as those with refineries with higher average complexity index; evolution and diffusion of technology; main actors of the scientific and technological development and collaborative relationships; markets of interest; focus of research; and hydrocracking capacity estimation depending on the intensity of research and development on the subject. This study provides subsidies to energy policy formulators and decision makers in the energy industry.

Keywords:

Hydrorefining; Oil Refining; Technology Prospecting

Rio de Janeiro,

May 2014

SUMÁRIO

Capítulo I - Introdução 1

I.1 Objetivos 4

I.2 Estruturação do trabalho 5

Capítulo II - Revisão de literatura 6

II.1 O refino de petróleo 6

II.1.1 Destilação 9

II.1.2 Craqueamento térmico 11

II.1.3 Processamento térmico/viscorredução 12

II.1.4 Coqueamento 13

II.1.5 Craqueamento catalítico 14

II.1.6 Hidrocraqueamento 15

II.1.7 Reforma catalítica 16

II.1.8 Complexidade das refinarias 17

II.2 As tecnologias de hidrorrefino de petróleo 18

Capítulo III - Métodos 21

III.1 Metodologias 21

III.1.1 Prospecção tecnológica e análise de redes sociais 21

III.1.2 Insumos e ferramentas 22

III.2 Fontes e análise dos dados 25

III.3 Síntese do método adotado 27

Capítulo IV - Estudo panorâmico a partir dos dados operacionais 29

IV.1 Perfil geográfico do refino de petróleo 29

IV.1.1 África 30

IV.1.2 América do Norte 31

IV.1.3 América Latina 33

IV.1.4 Ásia-Pacífico 34

IV.1.5 Europa 36

IV.1.6 Oriente Médio 38

IV.2 Perfil tecnológico do refino de petróleo 40

IV.2.1 Capacidade diária de destilação 42

IV.2.2 Capacidade diária de craqueamento térmico 43

IV.2.3 Capacidade diária de processamento térmico 44

IV.2.4 Capacidade diária de coqueamento 45

IV.2.5 Capacidade diária de craqueamento catalítico 46

IV.2.6 Capacidade diária de hidrocraqueamento 47

IV.2.7 Capacidade diária de reforma 48

IV.2.8 Complexidade das refinarias 49

Capítulo V - Estudo panorâmico a partir da literatura técnico-científica 51

V.1 Evolução temporal da publicação de artigos 51

V.2 Identificação dos principais atores na pesquisa e desenvolvimento da tecnologia 52

V.3 Caracterização da colaboração para pesquisa e desenvolvimento da tecnologia 55

V.4 Detalhamento da tecnologia através da análise de assunto dos documentos 59

Capítulo VI - Estudo panorâmico a partir dos documentos de patentes 60

VI.1 Distribuição temporal dos documentos de patentes a partir de sua data de prioridade 60

VI.2 Origem e difusão da tecnologia 62

VI.3 Apresentação dos principais mercados de interesse segundo os desenvolvedores da tecnologia 64

VI.4 Identificação dos principais atores na pesquisa e desenvolvimento da tecnologia 65

VI.5 Caracterização da colaboração para pesquisa e desenvolvimento da tecnologia 67

VI.6 Detalhamento da tecnologia através da análise de assunto dos documentos 71

Capítulo VII - Discussões..... 73

VII.1 Perfil geográfico e tecnológico 73

VII.2 Modelo de regressão múltipla 76

Capítulo VIII - Conclusões 79

Referências Bibliográficas 81

Apêndice I - Tabela de dados para alimentação do modelo..... 87

LISTA DE FIGURAS

Figura I.1 – Oferta de energia por tipo de fonte (1973 e 2010).. **1**

Figura I.2 – Consumo final de energia por tipo de fonte (1973 e 2010).. **2**

Figura I.3 – Consumo setorial de derivados de petróleo (1973 e 2010).. **3**

Figura II.1 – Principais processos do refino de petróleo e seus produtos derivados.. **7**

Figura II.2 – Principais produtos de petróleo com os números de carbono e intervalos de ebulição.. **9**

Figura II.3 – Esquema básico de uma unidade de destilação atmosférica e a vácuo.. **10**

Figura II.4 – Esquema básico de uma unidade de craqueamento térmico.. **11**

Figura II.5 – Esquema básico de uma unidade de processamento térmico / viscorredução.. **12**

Figura II.6 – Esquema básico de uma unidade de coqueamento.. **13**

Figura II.7 – Esquema básico de uma unidade de craqueamento catalítico.. **14**

Figura II.8 – Esquema básico de uma unidade de hidrocraqueamento.. **16**

Figura II.9 – Esquema básico de uma unidade de reforma catalítica.. **17**

Figura II.10 – Síntese dos processos de hidrorrefino.. **20**

Figura III.1 – Síntese do método adotado.. **28**

Figura IV.1 – Distribuição geográfica das refinarias por região.. **30**

Figura IV.2 – Distribuição da capacidade de destilação por país na região africana.. **31**

Figura IV.3 – Distribuição da capacidade de destilação por país na região da América do Norte.. **32**

Figura IV.4 – Distribuição da capacidade de destilação por país na região da América do Sul.. **34**

Figura IV.5 – Distribuição da capacidade de destilação por país na região da Ásia-Pacífico.. **36**

Figura IV.6 – Distribuição da capacidade de destilação por país na região europeia.. **38**

Figura IV.7 – Distribuição da capacidade de destilação por país na região do Oriente Médio.. **39**

Figura IV.8 – Capacidade mundial de refino de petróleo por tipo de processo.. **40**

Figura IV.9 – Capacidade diária por tipo de processo de refino de petróleo.. **41**

Figura IV.10 – Capacidade de processamento das unidades de destilação.. **43**

Figura IV.11 – Capacidade de processamento das unidades de craqueamento térmico.. **44**

Figura IV.12 – Capacidade de processamento das unidades de viscorredução.. **45**

Figura IV.13 – Capacidade de processamento das unidades de coqueamento.. **46**

Figura IV.14 – Capacidade de processamento das unidades de craqueamento catalítico.. **47**

Figura IV.15 – Capacidade de processamento das unidades de hidrocraqueamento. **48**

Figura IV.16 – Capacidade de processamento das unidades de reforma.. **49**

Figura IV.17 – Grau de complexidade das refinarias.. **50**

Figura V.1 – Evolução da publicação de artigos.. **52**

Figura V.2 – Países que mais publicaram artigos sobre o hidrorrefino de petróleo.. **53**

Figura V.3 – Instituições que mais publicaram artigos sobre o hidrorrefino de petróleo.. **54**

Figura V.4 – Principais atores no desenvolvimento da tecnologia.. **55**

Figura V.5 – Distribuição de instituições por artigo publicado.. **56**

Figura V.6 – Principal conjunto de parceiros entre as instituições que publicaram artigos sobre o tema estudado.. **57**

Figura V.7 – Distribuição de autores por artigo.. **58**

Figura V.8 – Principal conjunto de parceiros entre os autores.. ..... **58**

Figura V.9 – Agrupamento de termos-chave recuperados no campo Resumo.. ..... **59**

Figura VI.1 – Distribuição dos documentos de patentes.. ..... **60**

Figura VI.2 – Evolução dos pedidos de patentes a partir da data de prioridade dos documentos.. ..... **61**

Figura VI.3 – Países de nascimento das tecnologias.. ..... **62**

Figura VI.4 – Entrada dos países no desenvolvimento da tecnologia.. ..... **63**

Figura VI.5 – Mercados de uso e comercialização das tecnologias.. ..... **65**

Figura VI.6 – Empresas depositantes com 50 ou mais patentes no tema estudado.. ..... **66**

Figura VI.7 – Principais atores no desenvolvimento da tecnologia.. ..... **67**

Figura VI.8 – Distribuição de instituições por patente.. ..... **68**

Figura VI.9 – Principal conjunto de parceiros entre as instituições depositantes.. ..... **69**

Figura VI.10 – Distribuição de inventores por patente.. ..... **70**

Figura VI.11 – Principal conjunto de parceiros entre os inventores.. ..... **70**

Figura VI.12 – Diagrama de assuntos.. ..... **71**

Figura VII.1 – Comparação entre os anos de depósitos de patentes e os anos de publicação de artigos.. ..... **74**

Figura VII.2 – Coeficiente de correlação entre os depósitos de patentes e as publicações de artigos.. ..... **75**

Figura VII.3 – Nuvens de palavras dos resumos dos artigos (a) e das patentes (b).. ..... **76**

Figura VII.4 – Esquema do modelo simplificado proposto para a capacidade instalada de hidrocraqueamento.. ..... **77**

LISTA DE TABELAS

Tabela II.1 – Teor de enxofre permitido (em mg/kg) na gasolina e no diesel para anos entre 2012 e 2035. ..... **19**

Tabela III.1 – Lista de palavras-chave utilizadas na composição da estratégia de busca e respectivos resultados nas bases EnCompassLIT e FamPat.. ..... **26**

Tabela VII.1 – Matriz de correlação entre as variáveis consideradas **76**

Tabela VII.2 – Parâmetros do modelo proposto para a capacidade instalada de hidrocraqueamento. **78**

LISTA DE ABREVEATURAS

b/d – barris por dia
BTX – Benzeno, tolueno e xilenos
Cap. Dest. – Capacidade de destilação
Cap. HCC – Capacidade instalada de hidrocraqueamento
GLP – Gás liquefeito de petróleo
HC – Hidroconversão
HCC – Hidrocraqueamento
HDA – Saturação de aromáticos
HDF – Hidroacabamento
HDM – Hidrodesmetalização
HDN – Hidrodesnitrogenação
HDO – Hidrodesoxigenação
HDR – Hidrorrefino
HDS – Hidrodessulfurização
HDT – Hidrotratamento
HIDW – Hidroisodesparafinação
HO – Saturação de olefinas
IEA – Agência Internacional de Energia
Mtoe – Milhões de toneladas de óleo equivalente
QAV – Querosene de aviação

Capítulo I - Introdução

O petróleo é e continuará sendo nos próximos anos fundamental na matriz energética mundial, e o aumento de conhecimento sobre seus processos é de fundamental importância mesmo para organizações que não se relacionam diretamente com produtores ou comercializadores, uma vez que se trata de um produto que afeta toda a economia.

A Figura I.1 e a Figura I.2 apresentam, respectivamente, a oferta e o consumo final mundial de energia primária[1] destacados por tipo de fonte para os anos de 1973 e 2010. Como pode ser visto, a oferta mundial de energia mais que dobrou nas últimas quase quatro décadas, passado de 6.107 Mtoe[2] em 1973 para 12.717 Mtoe em 2010, e o consumo final mundial subiu 85 % no mesmo período, passando de 4.672 Mtoe em 1973 para 8.677 Mtoe em 2010. (EPE, 2013, p. 180; 182)

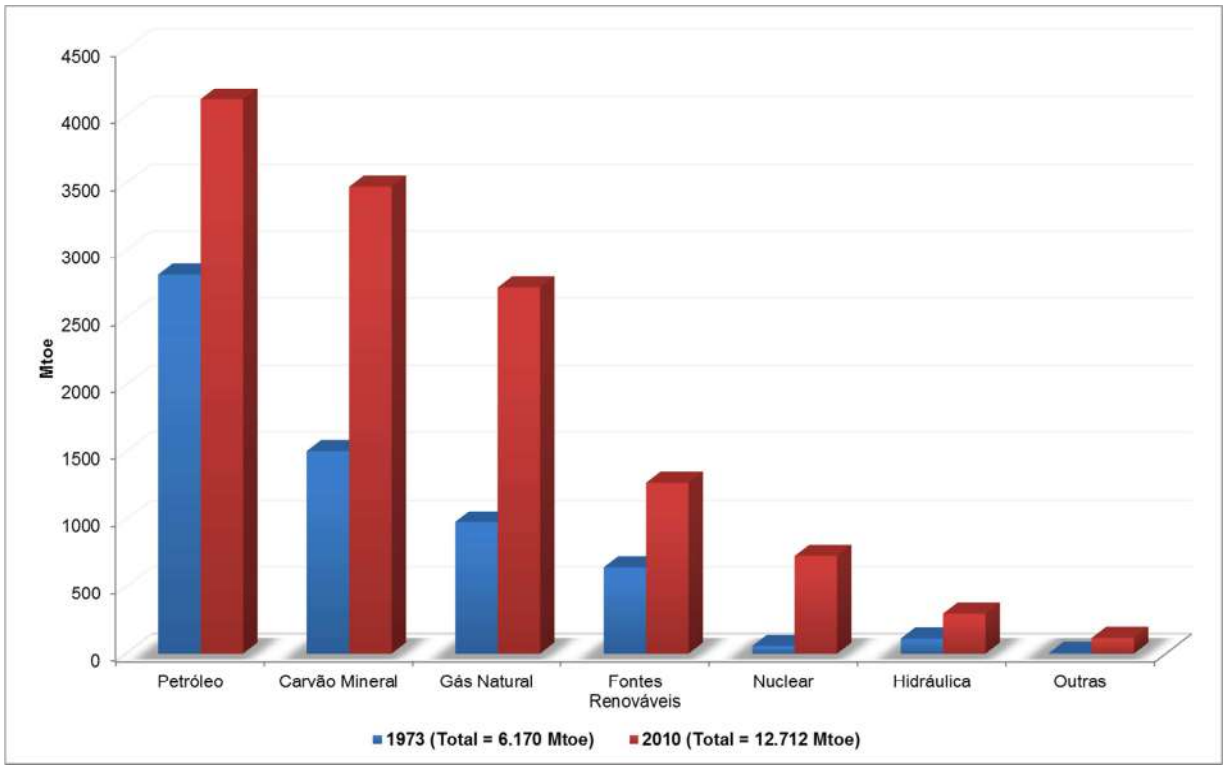


Figura I.1 – Oferta de energia por tipo de fonte (1973 e 2010). Fonte: Adaptado de EPE, 2013, p. 180.

[1] Produtos energéticos providos pela natureza na sua forma direta, como petróleo, gás natural, carvão mineral, resíduos vegetais e animais, energia solar, eólica etc. Fonte: EPE, 2013, p. 197.
[2] Milhões de toneladas de óleo equivalente.

Embora a participação da oferta de combustíveis fósseis tenha caído na matriz energética mundial, passando de 86,7 % em 1973 para 81,1 % em 2010, assim como o consumo final de combustíveis fósseis, que passou de 75,8 % em 1973 para 66,2 % em 2010 de acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), o mundo ainda tem uma matriz energética mundial predominantemente baseada em combustíveis de origem fóssil, sendo o petróleo a parte mais significativa dessa cadeia.

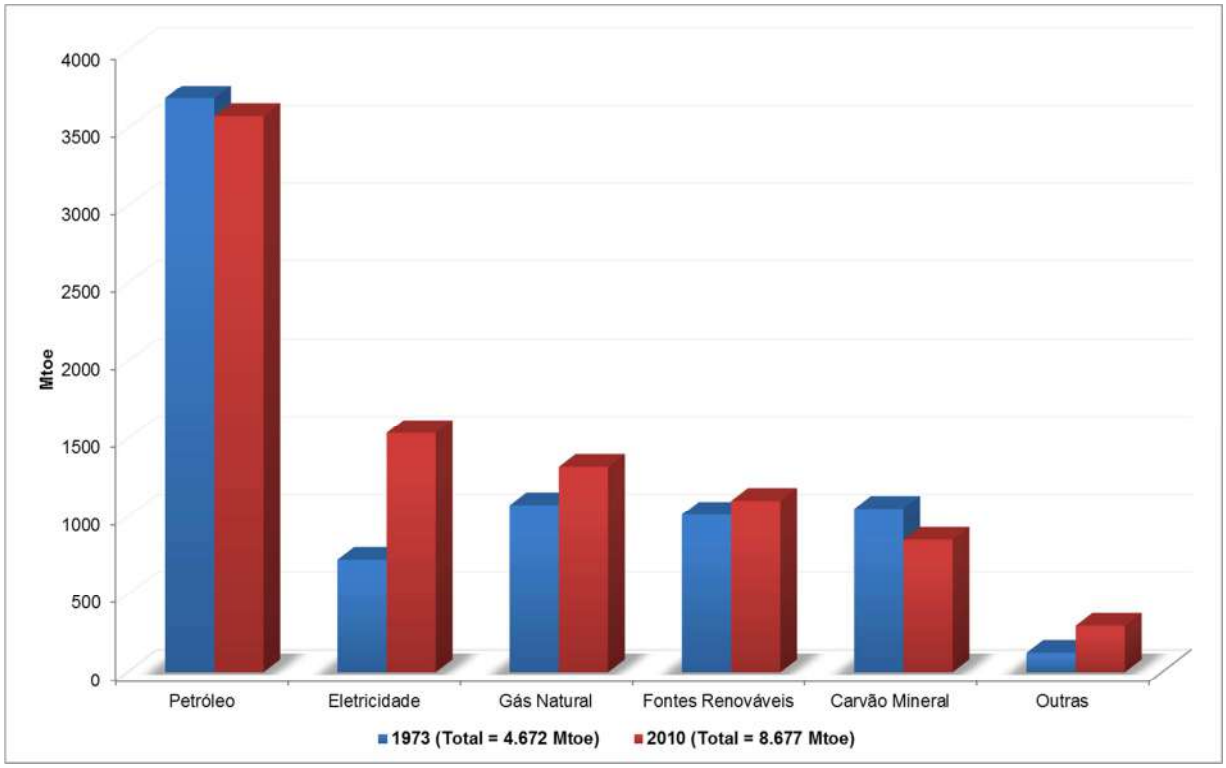


Figura I.2 – Consumo final de energia por tipo de fonte (1973 e 2010). Fonte: Adaptado de EPE, 2013, p. 182.

Mundialmente, o setor de transporte consome mais de 60 % de todo o petróleo produzido, sendo um direcionador da produção de derivados. A Figura I.3 apresenta o consumo dos derivados de petróleo nos diversos setores da economia nos anos de 1973 e 2010.

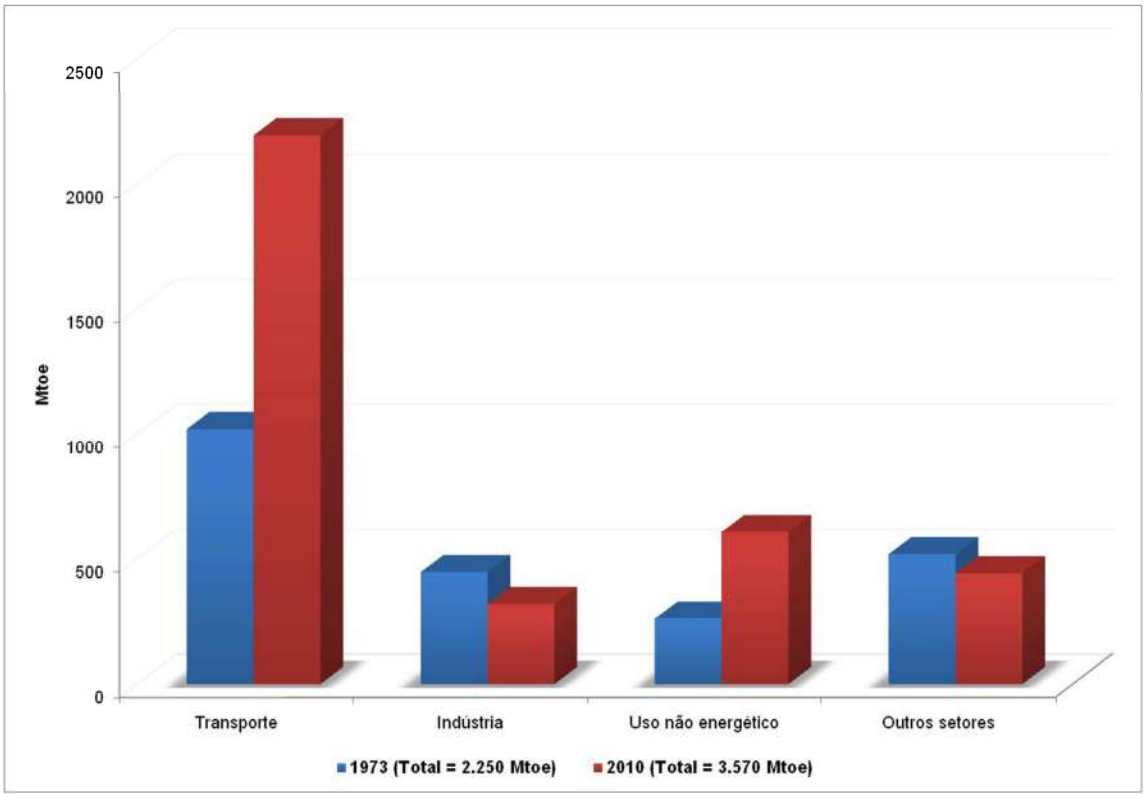


Figura I.3 – Consumo setorial de derivados de petróleo (1973 e 2010). Fonte: Adaptado de EPE, 2013, p. 183.

A cadeia produtiva do petróleo é extremamente complexa e envolve tomadas de decisão de alto risco. O petróleo é explorado por empresas muito variadas e que possuem domínios tecnológicos muito distintos. Essas empresas estão inseridas em mercados igualmente diversos com legislações e regulamentações também muito distintas. Tudo isso resulta em uma heterogeneidade muito grande de cada elo que compõe a cadeia do petróleo.

A necessidade de melhor entendimento sobre a cadeia do petróleo é a motivação para o presente estudo, que dará ênfase ao refino de petróleo, mais especificamente, aos processos de hidrorrefino de petróleo.

O hidrorrefino de petróleo objetiva vantagens como o melhor aproveitamento de matérias-primas, melhoria da qualidade do produto e proteção ambiental através de remoção de poluentes, proporcionando a produção de derivados com maior valor agregado. (SILVA, 2003, p. 1) A melhoria dos produtos das refinarias foi motivada por diversos fatores como, por exemplo, novas restrições legais, necessidade de produtos que causem menor impacto ambiental, desejo por processos mais eficientes nas refinarias, desenvolvimento da indústria automobilística e novas condições de operação de máquinas e motores.

O hidrorrefino é um processo que tem ganhado cada vez mais atenção por vir ao encontro dessas demandas. Segundo DELGAUDIO e PINOTTI (2013, p. 44), o nível médio de hidrotratamento no mundo já está no patamar de 50 % do total de óleo processado. Mas qual a

situação atual dessas tecnologias? Como está o hidrorrefino de petróleo no mundo no que se refere a sua capacidade produtiva e desenvolvimento científico e tecnológico? Quais as suas expectativas futuras?

Partindo-se da premissa de que o futuro não é único e certo e que a evolução de uma tecnologia irá depender de ações e decisões tomadas no presente, pode-se dizer que conhecer a conjuntura de uma determinada tecnologia é importante para antecipar ameaças e oportunidades, bem como contribuir para a construção de um futuro desejável. (KUPFER e TIGRE, 2004, p. 17).

Assim sendo, a presente dissertação tem foco nas tecnologias de hidrorrefino de petróleo, analisando a produção técnica e científica publicada sobre essa tecnologia, bem como os dados operacionais do refino de hidrocarbonetos no mundo.

I.1 Objetivos

O objetivo da presente dissertação é analisar as tecnologias de hidrorrefino através da utilização de técnicas de prospecção tecnológica e análise de redes sociais para a construção de conhecimento sobre o tema a fim de fornecer subsídios aos formuladores de políticas energéticas e tomadores de decisão da indústria de energia.

A dissertação tem como objetivos específicos:

a. Realizar um mapeamento do perfil geográfico e tecnológico do refino de petróleo no mundo a partir da situação da capacidade produtiva instalada, vislumbrada através dos dados operacionais do refino;
b. Realizar um mapeamento da produção científica sobre o hidrorrefino de petróleo com base nos artigos indexados em base de dados e
c. Realizar um mapeamento das patentes sobre hidrorrefino de petróleo depositadas nos principais escritórios patentários do mundo.

A partir do mapeamento dos artigos publicados e patentes depositadas, bem como dos dados operacionais, serão identificados diversos aspectos relacionados à tecnologia do hidrorrefino de petróleo, conforme listado no Capítulo III – Métodos.

I.2 Estruturação do trabalho

Este trabalho está estruturado em oito capítulos, começando com esta introdução, onde foram apresentados dados de oferta e consumo final de energia, com destaque para o consumo de derivados de petróleo no mundo e também os objetivos geral e específicos a que esta dissertação se propõe.

O capítulo II apresenta uma revisão de literatura sobre o refino de petróleo, enfatizando seus processos, bem como os produtos derivados desses processos. Esse capítulo também apresenta as particularidades das tecnologias de hidrorrefino.

Os métodos utilizados na confecção da presente dissertação são discutidos no capítulo III. São apresentadas as fontes que forneceram os insumos para este trabalho, bem como as ferramentas metodológicas e de tecnologias de informação utilizadas na confecção desse estudo.

Os capítulos IV, V e VI apresentam um panorama do hidrorrefino de petróleo a partir do mapeamento do perfil geográfico, tecnológico e estratégico do refino de petróleo a partir das fontes escolhidas. As análises do mapeamento do hidrorrefino de petróleo são apresentadas no capítulo VII e, por fim, as conclusões são sumarizadas no capítulo VIII.

Capítulo II - Revisão de literatura

II.1 O refino de petróleo

Embora o petróleo não seja uma descoberta recente, foi na segunda metade do século XIX, após o desenvolvimento das técnicas de extração, que se ampliou significativamente a produção de óleo e, consequentemente, sua destilação começou a ser desenvolvida, permitindo desenvolver produtos diferenciados e abrir novas possibilidades de utilização.

O petróleo, simplificadamente falando, é uma substância oleosa formada por uma complexa mistura de hidrocarbonetos e impurezas. Os óleos obtidos de diferentes reservatórios de petróleo possuem características diferentes, conforme cor, viscosidade, densidade, acidez, teor de enxofre etc.

A cadeia do petróleo é normalmente classificada em três importantes elos: a exploração e a produção, que consiste em localizar jazidas de hidrocarbonetos e trazer o óleo e o gás encontrado para a superfície; o refino do petróleo, que consiste em transformar o óleo bruto em produtos comercializáveis; e a comercialização e transporte do produto. O refino de petróleo, foco da presente dissertação, é considerado por MARIANO (2005, p. 1) o coração da indústria do petróleo, pois, sem a separação de seus diversos componentes, o petróleo em si teria pouco ou nenhum valor prático e comercial.

O princípio básico do refino de petróleo consiste na separação dos diferentes tipos de hidrocarbonetos que compõem o óleo cru por meio de destilação fracionada, conforme MACHADO (2012, p. 10), em frações de derivados, que são processados nas unidades de uma refinaria.

Essas unidades podem ser de separação, conversão, tratamento e rearranjo molecular de hidrocarbonetos.

Os produtos finais dividem-se em três categorias como descrito por SZKLO (2005, p. 19):

a. Combustíveis: gasolina, diesel, óleo combustível, gás liquefeito de petróleo (GLP), querosene de aviação (QAV), querosene, coque de petróleo e óleos residuais – cerca de 90 % dos produtos do refino no mundo.
b. Produtos acabados não combustíveis: solventes, lubrificantes, parafinas, asfalto e coque.
c. Intermediários da indústria química: nafta, eteno, propano, butano, etileno, propileno, butilenos, butadieno e benzeno, tolueno e xilenos (BTX).

Os processos de refino inicialmente eram poucos e simples, mas com o passar do tempo novas tecnologias foram incorporadas visando melhorar a produtividade da conversão das frações de petróleo, bem como alcançar níveis mais elevados de qualidade dos derivados. Os desafios em termos de qualidade e quantidade de insumos e produtos têm aumentado significativamente, incluindo maior rigor pela eficiência nos processos com menor consumo de água e energia e redução da geração de resíduos. (PERISSE e ODDONE, 2006; FORTUNY et al., 2008; MACHADO, 2012)

A Figura II.1 relaciona os principais processos do refino de petróleo que foram utilizados no presente estudo para a investigação do perfil geográfico e tecnológico dessa atividade no mundo e seus produtos típicos.

	GLP	Gasolina	QAV/nafta	Diesel / gasóleo pesado	Óleo combustível	Coque / betume
Destilação	■	■	■	■	■	■
Craqueamento térmico	■	■	■	■	■	
Processamento térmico	■	■	■	■	■	
Coqueamento			■	■	■	■
Craqueamento catalítico	■	■	■	■	■	
Hidrocraqueamento		■	■	■		
Reforma catalítica	■	■				

Figura II.1 – Principais processos do refino de petróleo e seus produtos derivados. Fonte: Adaptado de SZKLO, 2005, p. 21.

O refino do petróleo se inicia com a separação física das frações básicas do óleo cru que serão ou não misturadas a outras frações para a composição dos derivados de petróleo. A seguir, são discutidos alguns dos produtos derivados do petróleo.

O GLP é uma mistura de hidrocarbonetos com cadeias de três a quatro átomos de carbono que, embora seja gasosa em condições normais de temperatura e pressão, pode ser liquefeita por compressão. Embora o principal uso do GLP seja residencial (gás de cozinha), ele também pode ser utilizado como combustível industrial ou como matéria prima para a produção de gasolina de alta octanagem, matéria prima para a indústria petroquímica e combustível automotivo. (FARAH, 2011, p. 27)

A gasolina é também uma mistura de hidrocarbonetos e possui cadeias de cinco a 10 átomos de carbono, sendo utilizada principalmente como combustível automotivo de motores

que operam sob o ciclo Otto[3]. (FARAH, 2011, p. 28) No Brasil, a gasolina automotiva recebe a adição de cerca de 25 % de etanol anidro. Essa mistura não é uma medida técnica e sim estratégica, uma vez que permite ao governo reduzir impactos causados pelo preço da gasolina, garantir o atendimento à demanda de combustíveis e também incentivar a indústria de biocombustíveis.

Outro produto derivado do petróleo é o querosene de aviação (QAV). Trata-se de uma mistura de hidrocarbonetos com cadeias de nove a 15 átomos de carbono utilizada exclusivamente em turbinas da aviação. (FARAH, 2011, p. 30)

A nafta é uma fração leve obtida da destilação de petróleo ou da fração pesada do gás natural, apresentando cadeias de cinco a nove átomos de carbono. Sua principal utilização é a produção de gasolina, além de servir de insumo para a indústria petroquímica. (FARAH, 2011, p. 39)

O óleo diesel é uma mistura de hidrocarbonetos com cadeias de 10 a 25 átomos de carbono e sua principal utilização reside em combustível para motores de combustão interna de ciclo Diesel[4], além de geração elétrica. (FARAH, 2011, p. 33)

O óleo combustível é um derivado cuja base é o resíduo de vácuo, ao qual são adicionados diluentes para acerto de ponto de viscosidade. Apresentam cadeias de mais de 25 átomos de carbono e são separados em dois grupos: (a) óleos combustíveis industriais que são utilizados principalmente para geração de energia e (b) óleos combustíveis marítimos, que apresentam requisitos de qualidade semelhantes aos do óleo diesel. (FARAH, 2011, p. 37-38)

O coque de petróleo é produzido pelo processo de coqueamento retardado, tendo como principal carga o resíduo de vácuo e, segundo BRASIL, ARAÚJO e SOUSA (2011, p. 45), o coque de petróleo contém hidrocarbonetos pesados que não se vaporizaram até a temperatura de 480 °C.

As parafinas são derivados constituídos por cadeias de mais de 18 átomos de carbono que são sólidos à temperatura ambiente conforme narrado por BRASIL, ARAÚJO e SOUSA (2011, p. 43). Ainda segundo os autores, dentre os diversos usos para as parafinas estão a produção de fósforos, ceras, velas, aditivos para lubrificantes, as indústrias de papéis, borracha, cosméticos e alimentícia, dentre outros.

A Figura II.2 resume alguns dos produtos derivados de petróleo informando os intervalos médios de ebulição e a fração onde cada produto se encontra.

[3] Criado por Nikolaus August Otto em 1866. Funciona com combustão interna através de compressão e expansão de fluidos gasosos para gerar força e movimento rotativo. Fonte: INFOMOTOR. Princípio de funcionamento do motor a combustão interna ciclo Otto. 2009. Disponível em http://www.infomotor.com.br/site/2009/03/principio-de-funcionamento-do-motor-a-combustao-interna-ciclo-otto/ Acesso em 16 dez. 2013.

[4] Criado por Rudoulf Diesel em 1893. Semelhante ao motor de ciclo Otto com a principal diferença que a combustão do combustível se faz pelo aumento da temperatura provocado pela compressão de ar. Fonte: BIODIESELBR. Motor diesel. 2009. Disponível em http://www.biodieselbr.com/biodiesel/motor-diesel/motor-diesel.htmAcesso em 16 dez. 2013.

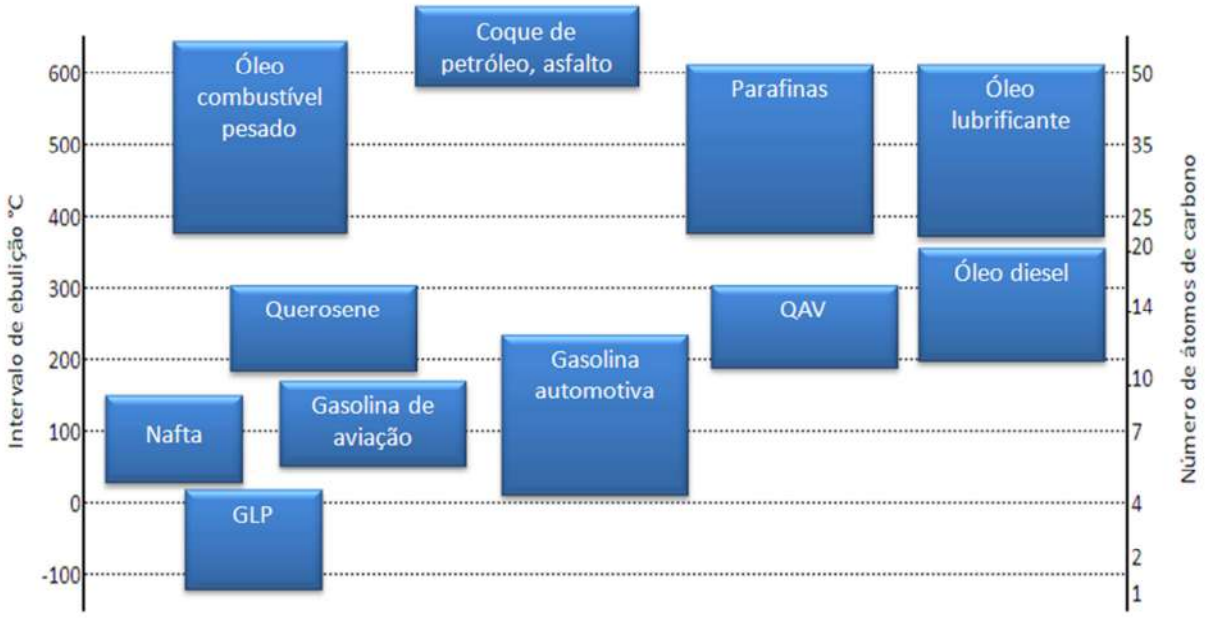


Figura II.2 – Principais produtos de petróleo com os números de carbono e intervalos de ebulição. Fonte: Adaptado de FAHIM, AL-SAHHAF e ELKILANI, 2012, p. 26.

As subseções seguintes descrevem algumas das características mais importantes de cada um dos processos listados na Figura II.1. É importante destacar que antes que o óleo cru passe por qualquer dos processos de refino, ele é normalmente dessalgado ou dessalinizado para a remoção de águas e sais corrosivos. Segundo MARIANO (2005, p. 12), esse processo é essencial para evitar danos às unidades de destilação como corrosão e entupimento de equipamentos, além da danificação de catalisadores.

II.1.1 Destilação

O processo de transformação do petróleo bruto em produtos acabados é uma etapa importante da cadeia de suprimentos. O petróleo bruto é estocado em tanques de armazenamento para que sedimentos e água sejam separados por decantação. Esse petróleo, antes de ser bombeado para a unidade de destilação da refinaria, passa pelo processo de dessalgação, onde água e sais são removidos por processo eletrostático. O óleo cru, desde que sai dos tanques de armazenagem, passa por diversos trocadores de calor, onde é aquecido pelos produtos que saem da coluna de destilação e pelo intercâmbio com o calor dos fluxos de líquidos rebombeados, chegando a uma temperatura de 150 °C. Essa troca de calor garante que a matéria-prima a ser processada chegue ao forno já preaquecida, o que é essencial para a economia da refinaria em termos de conservação de energia. (FAHIM, AL-SAHHAF e ELKILANI, 2012, p. 82) Mesmo com o preaquecimento, o petróleo deve ainda

passar por um forno para ser vaporizado antes de entrar na coluna de destilação atmosférica. A temperatura utilizada no processo de destilação varia entre 300 e 400 °C.

Os produtos resultantes da destilação são principalmente o gás, destilados leves (gasolina e nafta), destilados médios (querosene e diesel) e óleo combustível pesado, dentre outros produtos. O resultado da destilação é dependente da composição química do petróleo usado na carga. Vale lembrar que a destilação é um processo de separação física e, portanto, não ocorre alteração química dos hidrocarbonetos constituintes do petróleo processado. (BRASIL, ARAÚJO e SOUSA, 2011, p. 85)

A Figura II.3 apresenta um esquema básico típico de uma unidade de destilação atmosférica e a vácuo, além de listar seus principais cortes.

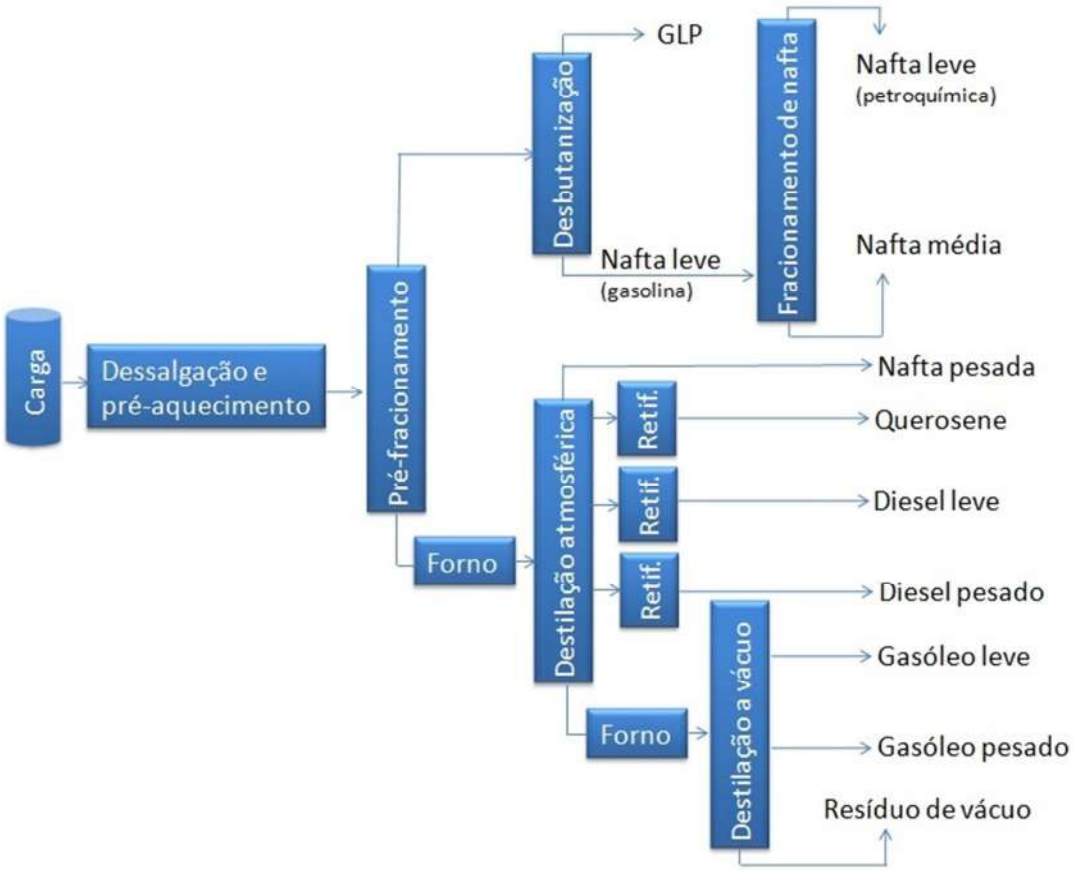


Figura II.3 – Esquema básico de uma unidade de destilação atmosférica e a vácuo. Fonte: Adaptado de ABADIE, 2002, p. 17 e FARAH, 2012, p. 70.

II.1.2 Craqueamento térmico

O craqueamento térmico é o mais antigo dos processos de conversão química do petróleo. Também denominado de pirólise quando na presença de vapor d'água, é um processo onde as moléculas são quebradas pelo aquecimento a altas temperaturas. Os insumos do craqueamento térmico são normalmente gasóleos pesados e o resíduo do processo de destilação a vácuo (MARIANO, 2005, p. 24) e a temperatura utilizada no processo chega a 540 °C. Segundo SZKLO (2005, p. 28), esse processo tem por objetivo a obtenção de GLP e gasolina e seu rendimento gira em torno de 10 a 15 % de conversão. Ainda segundo o autor, o craqueamento térmico vem sendo substituído pelo processo de craqueamento catalítico, onde se consegue maior controle do processo e de seus rendimentos. A Figura II.4 apresenta um esquema básico de uma unidade de craqueamento térmico e lista as principais frações obtidas no processo.

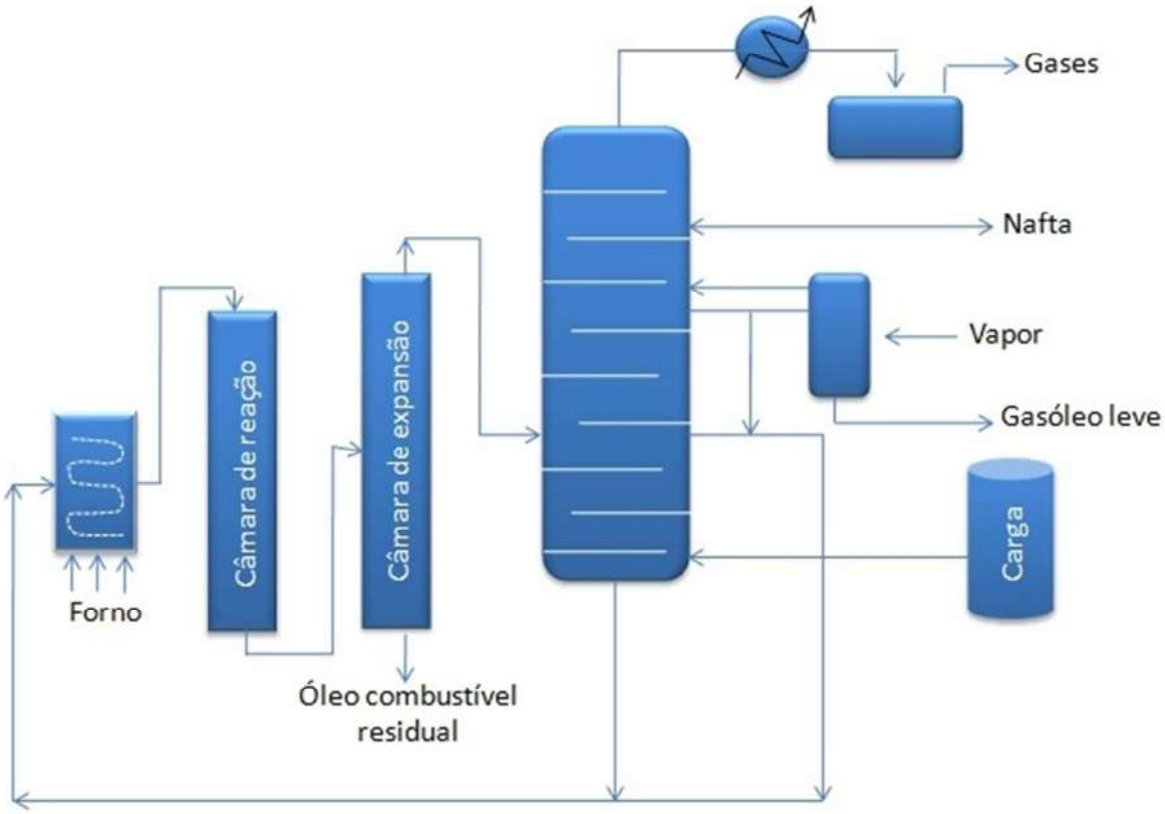


Figura II.4 – Esquema básico de uma unidade de craqueamento térmico. Fonte: Adaptado de ABADIE, 2002, p. 36.

II.1.3 Processamento térmico/viscorredução

O processamento térmico ou processamento de viscorredução é utilizado na redução da viscosidade e do ponto de fluidez do resíduo de vácuo de modo que este possa ser usado em processos a jusante. (FAHIM, AL-SAHHAF e ELKILANI, 2012, p.5) O processamento térmico é menos severo que o craqueamento térmico, ou seja, ocorre em temperatura e pressão mais baixas que outros processos de craqueamento. Seus produtos consistem basicamente de gás, gasolina, destilados leves e óleo combustível residual de baixa viscosidade (MARIANO, 2005, p.25). Segundo ABADIE, 2002, p. 37, a viscorredução era um processo largamente empregado quando não se dispunha de fracionamento a vácuo, havendo, atualmente, preferência pelos processos de destilação a vácuo e craqueamento catalítico.

A Figura II.5 apresenta um esquema básico de uma unidade de processamento térmico, bem como seus principais cortes.

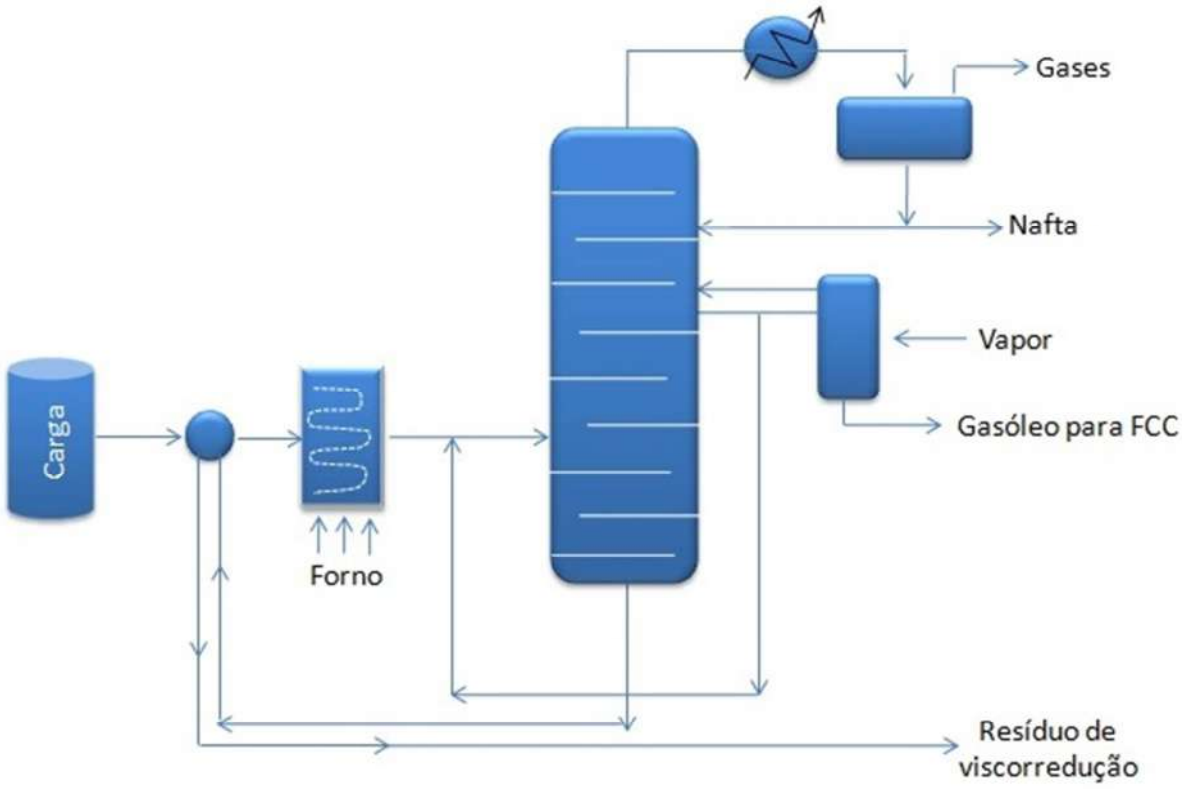


Figura II.5 – Esquema básico de uma unidade de processamento térmico / viscorredução.
Fonte: Adaptado de ABADIE, 2002, p. 37.

II.1.4 Coqueamento

O coqueamento é também um processo térmico não catalítico de craqueamento que recebe resíduo de vácuo como carga, que é convertida em frações leves e coque. Por não fazer uso de catalisador que pode ser contaminado, tem maior liberdade quanto ao tipo de carga. BRASIL, ARAÚJO e SOUSA (2011, p. 53) narram que a crise do petróleo em 1970 trouxe consigo uma crescente importância para esse processo, uma vez que ele transforma frações de baixo valor agregado em produtos de maiores valores comerciais.

A temperatura do processo de coqueamento gira em torno de 500 °C. Segundo FARAH (2012, p.75), seu rendimento típico é de cerca de até 7 % de GLP, até 16 % de nafta, entre 12 e 16 % de gasóleo leve e gasóleo pesado (cada) e entre 25 e 35 % de coque.

O coque é usado como combustível para plantas de geração de energia, além de outras aplicações como matéria-prima para a confecção de produtos de carbono e grafite, tais como anodos para a produção de alumínio e eletrodos para a produção de fósforo elementar, dióxido de titânio, carbeto de cálcio e carbeto de silício. (MARIANO, 2005, p. 26)

A Figura II.6 apresenta um esquema básico de uma unidade de coqueamento, listando também seus principais produtos.

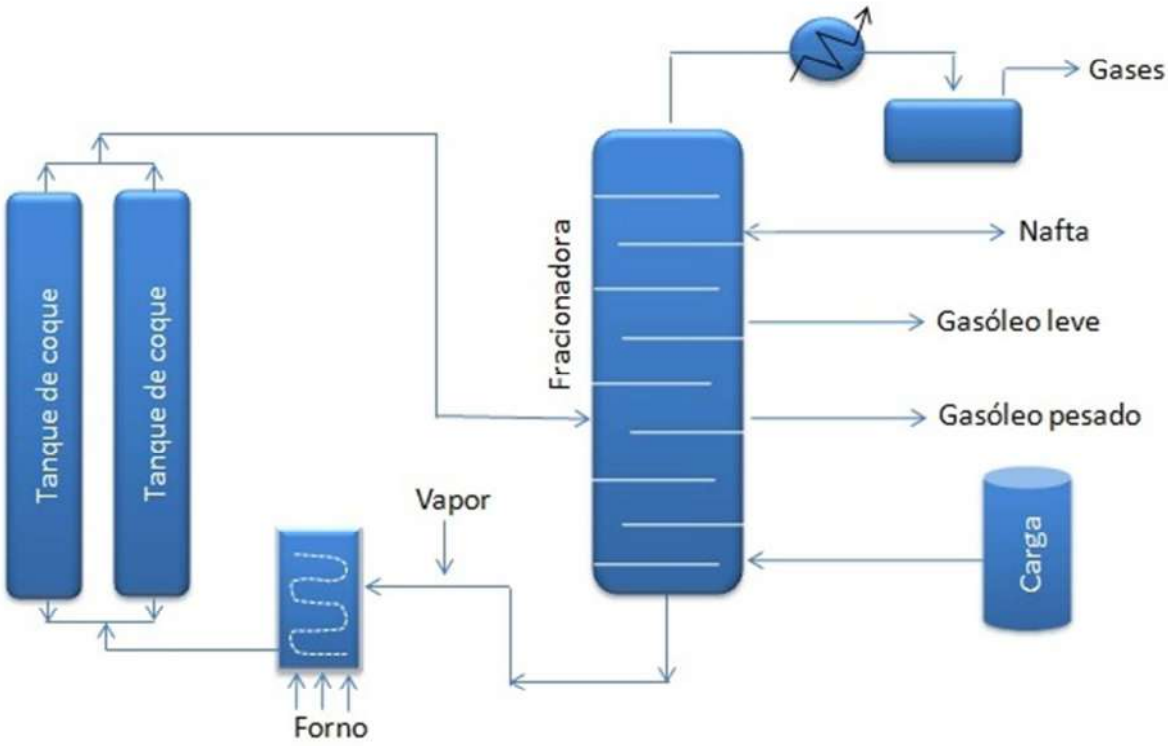


Figura II.6 – Esquema básico de uma unidade de coqueamento. Fonte: Adaptado de ABADIE, 2002, p. 39.

II.1.5 Craqueamento catalítico

O craqueamento catalítico é o mais utilizado dos processos de refino para a conversão de frações pesadas em derivados mais nobres como contam BRASIL, ARAÚJO e SOUSA (2011, p. 133). Esse processo promove a quebra das moléculas de hidrocarbonetos em condições menos rigorosas que o craqueamento térmico ou o processamento térmico, além de ser mais seletivo em função do uso de catalisadores. Segundo SZKLO (2005, p. 31), a carga do craqueamento catalítico é normalmente gasóleos leves e pesados da unidade de destilação. MARIANO (2005, p.28) aponta que, no processo de craqueamento catalítico em leito fluidizado, o óleo preaquecido em temperaturas que variam de 260 a 430 °C entra em contato com o catalisador quente, a uma temperatura de 700 °C, dentro do reator, ou antes, na linha de alimentação.

O craqueamento catalítico tem como principal produto gasolina de boa octanagem (em torno de 93), com cerca de 50 % de rendimento. Também produz GLP e gasóleo de reciclo. A Figura II.7 apresenta um esquema básico de uma unidade de craqueamento catalítico e lista suas principais frações.

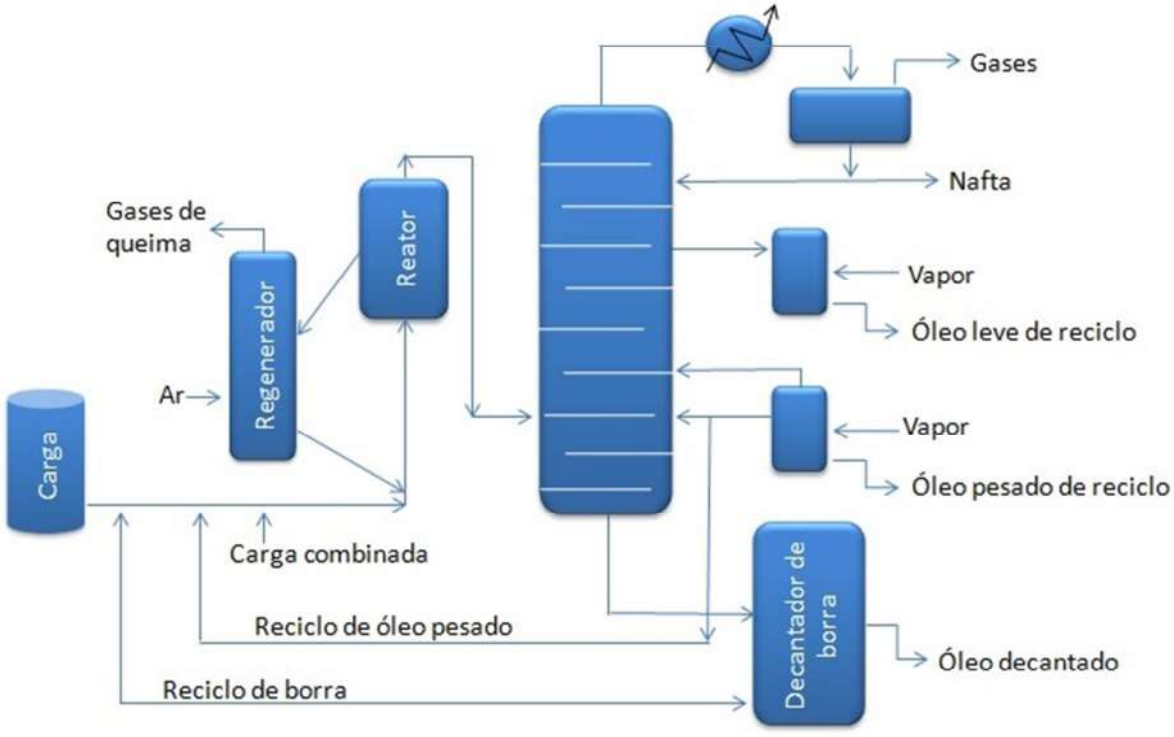


Figura II.7 – Esquema básico de uma unidade de craqueamento catalítico. Fonte: Adaptado de FARAH, 2012, p. 72.

II.1.6 Hidrocraqueamento

O hidrocraqueamento é um processo de craqueamento catalítico que utiliza elevadas temperatura (entre 280 e 475 °C) e pressão (33 atm a 190 atm) na presença de hidrogênio. As reações de quebra das moléculas e da hidrogenação ocorrem simultaneamente no processo. Os processos de hidrocraqueamento foram implantados em 1920 na refinaria de Leuna na Alemanha para produção de gasolina a partir do carvão mineral, conforme narrado por BRASIL, ARAÚJO e SOUSA (2011, p. 54). Devido ao seu alto custo, esse processo só cresceu em importância a partir de 1960, após a implantação da primeira unidade em grande escala pela Chevron, na refinaria de Richmond nos Estados Unidos.

Segundo ERKINA e CHERNYI (1972, p. 38), corroborados por MARIANO (2005, p. 31), o hidrocraqueamento é um processo versátil, que pode receber como carga as frações mais difíceis de craquear ou aquelas que não podem ser processadas em unidades de craqueamento catalítico, incluindo óleos combustíveis residuais, cru reduzido, destilados médios e óleo de reciclo. Como a carga pode conter compostos sulfurados, oxigenados e nitrogenados que podem contaminar o catalisador, antes do hidrocraqueamento, utilizam-se unidades de hidrotratamento para remoção desses compostos. (SZKLO, 2005, p.39) O hidrocraqueamento possui rendimento de cerca de 75 % de gasolina de alta octanagem (95), além de gasolina leve e gás.

A Figura II.8 apresenta um esquema básico de uma unidade de hidrocraqueamento, além de seus principais cortes.

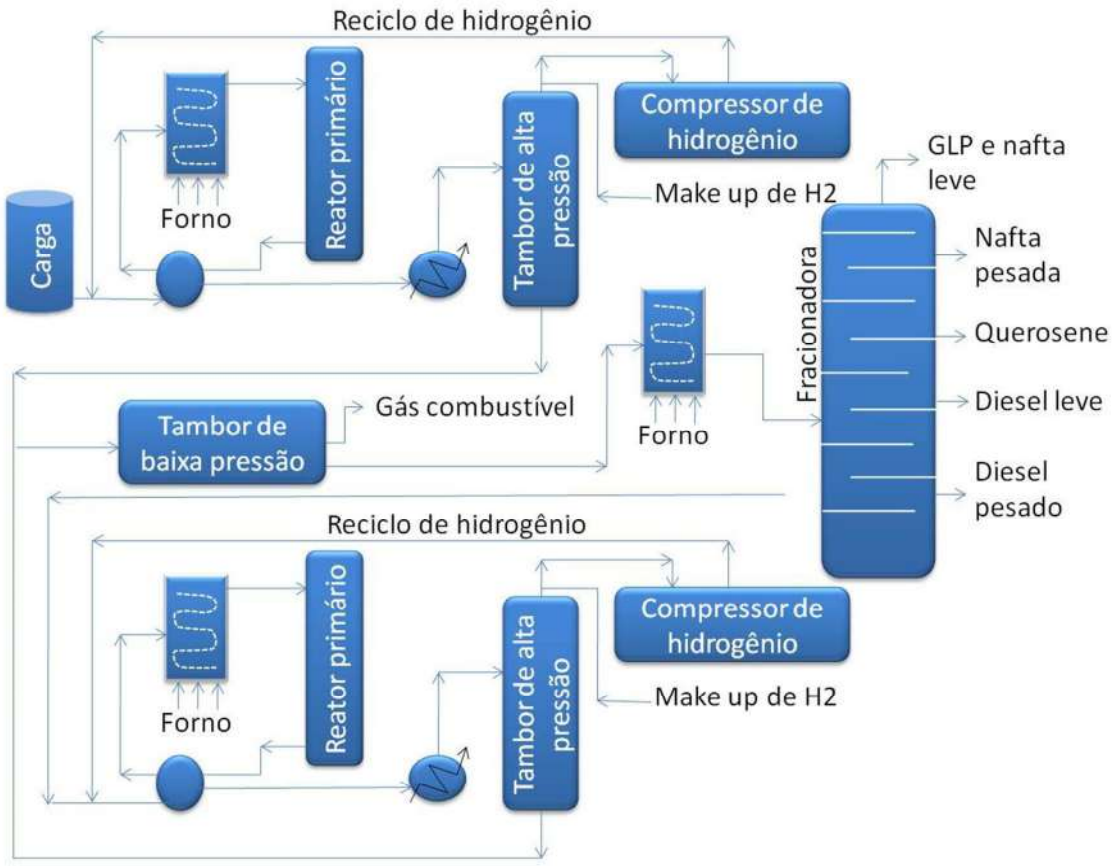


Figura II.8 – Esquema básico de uma unidade de hidrocraqueamento. Fonte: Adaptado de ABADIE, 2002, p. 42.

II.1.7 Reforma catalítica

A reforma é um conjunto de reações catalíticas, porém em temperatura e pressão menores que no hidrocraqueamento. Sua carga consiste basicamente em nafta de baixa octanagem e o objetivo é a produção de gasolina de alta octanagem (até 100) ou BTX com alta pureza que podem ser comercializados diretamente como produtos finais ou usados na fabricação de petroquímicos de segunda geração. (BRASIL, ARAÚJO e SOUSA, 2011, p. 170)

FARAH (2012, p.76) explica que a carga deve ser aquecida e pré-tratada para a remoção de contaminantes que podem atuar sobre o catalisador e que, após, é enviada à seção de reforma. A unidade de reforma, conforme esquema apresentado na Figura II.9, é normalmente composta por um conjunto de três ou quatro fornos e reatores onde hidrocarbonetos saturados são transformados em aromáticos.

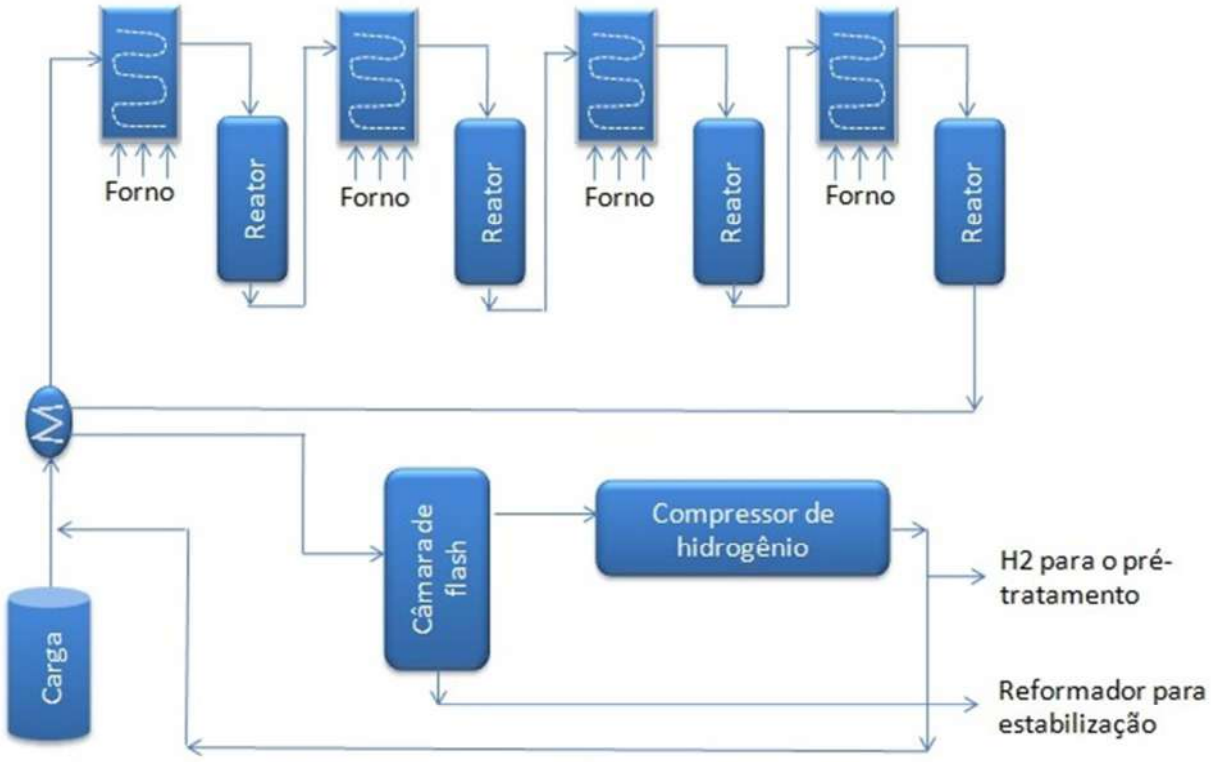


Figura II.9 – Esquema básico de uma unidade de reforma catalítica. Fonte: Adaptado de ABADIE, 2002, p. 30.

II.1.8 Complexidade das refinarias

Além dos dados operacionais dos principais processos de transformação de hidrocarbonetos, a complexidade das refinarias de petróleo também é considerada na presente dissertação.

Como já mencionado, refinarias de petróleo são sistemas complexos com múltiplas operações que dependem das propriedades da carga, ou seja, do insumo, e também dos produtos desejados. Na década de 1960, Wilbur L. Nelson desenvolveu um índice com o objetivo de avaliar o balanço entre os custos de investimento e operação de refinarias, como narra SZKLO (2005, p. 93).

O Índice de Complexidade de Nelson é o mais antigo e tradicional na indústria do petróleo para comparação de refinarias e permite uma visão da complexidade não apenas da refinaria, mas também do custo de reposição e do impacto da adição de novas unidades. (PERRISSÉ, 2007, p. 83)

Trata-se de uma medida de capacidade de conversão secundária em comparação com a capacidade de destilação da refinaria. BONFÁ (2011, p. 8) explica que a complexidade da refinaria é calculada pela soma dos índices de cada uma de suas unidades de processo. Para

o cálculo da complexidade de uma unidade de processamento, calcula-se o custo de investimento da capacidade instalada do barril diário processado nesta unidade dividido pelo custo de instalação do barril diário processado na unidade de destilação atmosférica. JOHNSTON (1996, p. 74) exemplifica que se uma destilação atmosférica tem o custo de x unidades monetárias por barril/dia e a unidade de craqueamento catalítico tem custo de 6x unidades monetárias por barril/dia, esta unidade de craqueamento catalítico tem fator de complexidade 6. Quanto maior esse número, maior o potencial de agregar valor ao petróleo processado.

JOHNSTON (1996, p. 76) ainda apresenta tabela com índices de complexidade generalizados: destilação atmosférica – 1,0; craqueamento térmico – 2,75; processamento térmico e reforma catalítica – 5,0 e coqueamento, craqueamento catalítico e hidrocraqueamento – 6,0.

II.2 As tecnologias de hidrorrefino de petróleo

A especificação da qualidade dos produtos de petróleo tem mudado significativamente ao longo dos últimos 30 anos. As restrições relativas aos padrões de emissão e contaminantes nos combustíveis se tornam mais rigorosas a cada ano e, também, passam a ser adotadas por um número maior de governos.

Após um processo gradual de mudanças na formulação da gasolina com vista à eliminação do chumbo, então utilizado como aditivo para melhoria da octanagem, em sua composição, o foco voltou-se para o teor de enxofre. Os Estados Unidos e vários países da Europa, assim como o Japão e o Canadá, além dos limites para as emissões de óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio e particulados, estão se movendo no sentido de reduzir gases de efeito estufa, especialmente o dióxido de carbono. (OWOO, 2012, p. 165)

A Tabela II.1 resume o limite de teor de enxofre permitido na gasolina e no diesel para o ano de 2012 e apresenta projeção para esse limites no ano de 2035. Na referida tabela, percebe-se que todas as regiões em desenvolvimento apresentam perspectiva de melhoria da qualidade do diesel e da gasolina em função da redução do teor de enxofre contido nesses produtos.

Tabela II.1 – Teor de enxofre permitido (em mg/kg) na gasolina e no diesel para anos entre 2012 e 2035. Fonte: Adaptado de OWOO, 2012, p. 169 e 170.

Região	2012		2015		2020		2025		2030		2035	
	Gasolina	Diesel	Gasolina	Diesel	Gasolina	Diesel	Gasolina	Diesel	Gasolina	Diesel	Gasolina	Diesel
Estados Unidos e Canadá	30	15	30	15	10	15	10	10	10	10	10	10
América Latina	520	1.085	255	440	130	185	45	40	30	35	30	20
Europa	13	13	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Oriente Médio	605	1.725	235	415	75	155	25	70	16	20	10	10
Ex-União Soviética	315	440	115	175	35	60	20	15	12	10	10	10
África	795	3.810	493	2.035	245	930	165	420	95	175	65	95
Ásia-Pacífico	205	400	130	200	65	100	35	45	20	25	15	15

Para melhorar a qualidade da gasolina e do diesel é necessário reduzir os teores de benzeno e aromáticos, em conjunto com o aumento do número de octanagem. Os processos de hidrorrefino, também chamados de hidroprocessamento, são os mais indicados para o alcance desses objetivos.

São caracterizados como hidrorrefino ou hidroprocessamento os processos nos quais frações de petróleo são tratadas com hidrogênio na presença de um catalisador, conforme explica SILVA et al (1998, p. 157). Dentro da classificação do hidrorrefino existem diversos subprocessos e cada um destes recebe uma nomenclatura de acordo com seu objetivo principal, conforme resumido nos parágrafos seguintes. (SILVA et al, 1998; ABADIE, 2002; OLIVEIRA e ZOTIN, 2003; SILVA, 2003; SZKLO, 2005; PERISSÉ e ODDONE, 2006; PERISSÉ, 2007; PERISSÉ e ODDONE, 2008; BONFÁ, 2011; BRASIL, ARAÚJO e SOUSA, 2011; FAHIM, AL-SAHHAF e ELKILANI, 2012)

O hidrotratamento (HDT) é o processo de remover impurezas, tais como, enxofre, nitrogênio e metais, na carga a ser processada por meio de reação com hidrogênio na presença de um catalisador. O hidrotratamento tem o objetivo de melhorar as propriedades de um produto sem alterar fortemente a sua faixa de destilação original. Quando o objetivo é a retirada de enxofre, nomeia-se o processo de hidrodessulfurização (HDS), quando o objetivo é a retirada de metais como níquel e vanádio, o processo é nomeado de hidrodesmetalização (HDM) e quando o objetivo é a retirada de oxigênio, nomeia-se o processo de hidrodesoxigenação (HDO). A retirada de nitrogênio é chamada de hidrodesnitrogenação (HDN), porém, essa impureza é retirada em quaisquer dos três outros processos. A saturação de olefinas (HO) e aromáticos (HDA) são processos que visam melhorar a qualidade do produto, aumentando a estabilidade e diminuindo o potencial toxicológico, além de evitar a excessiva formação de coque e fuligem. Especificamente sobre a HDA, o processo pode requerer uma elevada seletividade, uma vez que os aromáticos, apesar de serem tóxicos, aumentam a octanagem da gasolina, o que aumenta a qualidade desse produto. A hidroisodesparafinação (HIDW) é o processo de isomerização (ramificação) de cadeias lineares de hidrocarbonetos para diminuição do seu ponto de fluidez, empregado tipicamente na

moderna produção de lubrificantes. O hidrotratamento é um processo severo, ou seja, exige pressão e temperaturas elevadas como anteriormente descrito.

O hidrocraqueamento (HCC) é um processo de craqueamento catalítico que utiliza maiores temperatura e pressão na presença de hidrogênio, sendo, portanto, também um processo severo. É um processo que recebe gasóleo pesado ou frações residuais como carga e possui rendimento de cerca de 75 % de gasolina de alta octanagem (95), além de gasolina leve e gás.

O hidroacabamento (HDF) é também um processo de remoção de impurezas, porém trata-se de uma reação relativamente mais branda, ou seja, uma reação que acontece com pressão (cerca de 40 bar) inferior à típica dos processos de hidrotratamento e hidrocraqueamento. O HDF também é empregado tipicamente na moderna produção de lubrificantes.

A Figura II.10 apresenta a sintetização dos processos de hidrorrefino, ordenados por severidade do processo.

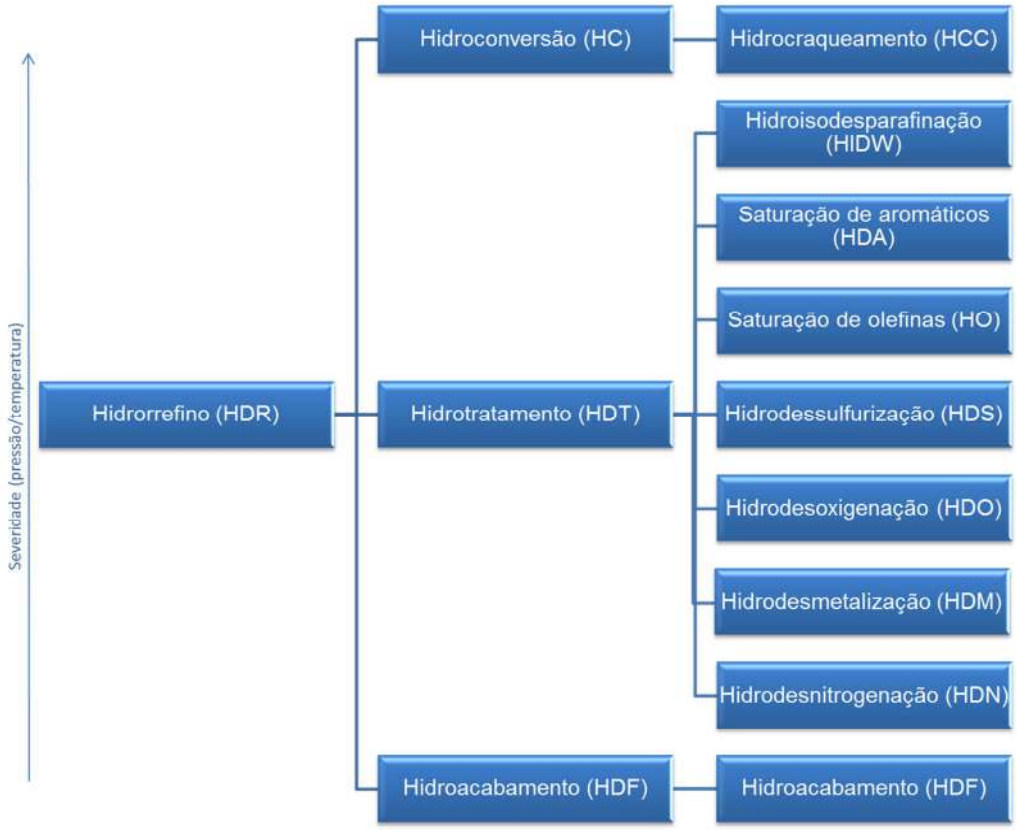


Figura II.10 – Síntese dos processos de hidrorrefino. Fonte: Elaboração própria.

Capítulo III - Métodos

III.1 Metodologias

Para analisar as tecnologias de hidrorrefino de petróleo foram utilizadas ferramentas de prospecção tecnológica e de análise de redes socais.

III.1.1 Prospecção tecnológica e análise de redes sociais

Conforme apontado por KUPFER e TIGRE (2004, p. 17), a prospecção tecnológica pode ser definida como um meio sistemático de mapear desenvolvimentos científicos e tecnológicos futuros capazes de influenciar de forma significativa uma indústria, a economia ou a sociedade como um todo. Existem diversas técnicas e ferramentas que podem ser utilizadas nos estudos de prospecção tecnológica.

Esse tipo de estudo é útil para esclarecer os novos desenvolvimentos em uma indústria; logo, é de grande importância durante o processo de construção do planejamento estratégico tecnológico empresarial, uma vez que aponta os caminhos que estão sendo percorridos pelos concorrentes e mostra as lacunas, ou seja, as oportunidades a serem seguidas. Segundo PAAP (2003, p. 2), a estratégia tecnológica não apenas ajuda a posicionar o futuro da função tecnologia na organização, mas também facilita o processo decisório de alocação de recursos, sejam eles financeiros ou de conhecimento, para programas e projetos, de maneira a otimizar o suporte do negócio e também a equilibrar as necessidades de negócio de curto, médio e longo prazo.

A análise de redes sociais, por sua vez, será utilizada de forma a complementar a análise dos dados bibliométricos. Esse tipo de análise visa o estudo das relações entre diversos atores, sejam eles indivíduos, organizações, países, campos do conhecimento etc. que apresenta alguma relação de interdependência. No caso do presente estudo, que pesquisam e desenvolvem as tecnologias de hidrorrefino de petróleo. Através da análise de redes sociais, é possível identificar padrões de relacionamentos entre os atores, a conectividade entre estes, a evolução da rede ao longo do tempo e o fluxo de comunicação, informação e conhecimento dentro da rede. (GOMES, BARBASTEFANO e LIMA, 2012, p. 672)

KIM e SONG (2013, p. 944) utilizam a análise de redes para avaliar o valor de patentes através de processos legais contra infringimento do direito de invenção. Os autores fazem uso das medidas de centralidade de rede, como grau e centralidade de autovetor para medir a

importância topológica das empresas representadas no grafo. NAM e BARNETT (2011, p. 1472) analisam os registros de entrada e saída de patentes e marcas em 151 países no período de 1995 a 2005 com o intuito de investigar as tendências globais de difusão tecnológica.

Através da utilização de análise de rede sociais em uma rede de citação de patentes sobre células fotovoltaicas orgânicas, CHOE et al (2013, p. 493), buscam compreender a estrutura e as características do fluxo de conhecimento tecnológico entre países, instituições e áreas tecnológicas. Já STERNITZKE e BARTKOWSKI (2013, p. 115), também pela análise de redes sociais, buscam a identificação dos atores mais relevantes e suas conexões com o intuito de averiguar concorrência ou parceria no campo da optoeletrônica.

Vários trabalhos apresentam o uso de redes sociais para a análise do fluxo de informação entre os atores construtores de conhecimento para entendimento e criação de novo conhecimento. (DORAISAMY, VICE e HELLECK, 2000; VELICHETY e RAM, 2012; VASCONCELLOS e MOREL, 2012; AKAISHI et al, 2012; SALAH e SALAH, 2013; BINZ, TRUFFER e COENEN, 2014)

Para analisar os relacionamentos entre os atores que pesquisam e desenvolvem a tecnologia de hidrorrefino de petróleo, foi utilizado o *software* Pajek[5]. Segundo NOOY, MRVAR e BATAGELJ (2005, p. 3), o Pajek provê ferramental para analisar e visualizar redes de relacionamentos, podendo lidar inclusive com redes muito grandes.

III.1.2 Insumos e ferramentas

Dentre os vários insumos informacionais utilizados para as atividades de prospecção tecnológica, as informações de fontes secundárias, como dados operacionais, depósitos de patentes e publicação de artigos, foram escolhidas como matéria-prima para a presente dissertação.

As informações sobre o desenvolvimento da ciência são principalmente divulgadas através de sua publicação em periódicos e, através destes, os trabalhos recebem notoriedade perante seus pares. SILVA (2004, p. 25), sobre o processo de comunicação científica, afirma que este se inicia com o desenvolvimento de uma ideia por um pesquisador e se concretiza no momento que a comunidade científica toma conhecimento desses resultados, concluindo, portanto, que a divulgação científica é o cerne do trabalho de pesquisa. As informações científicas narram os primeiros resultados de pesquisa, apresentando a construção do conhecimento científico e tecnológico, sendo utilizado na presente dissertação para mapear os conhecimentos sobre a tecnologia de hidrorrefino de petróleo.

[5] http://pajek.imfm.si/doku.php?id=pajek

Para a explicitação do conhecimento contido nos artigos de periódicos foi adotada a bibliometria. A técnica de bibliometria trata dos aspectos quantitativos da produção, disseminação e uso da informação registrada. ARORA et al (2013, p. 369) explicam que a bibliometria é uma importante ferramenta para a investigação tecnológica, especialmente para campos tecnológicos emergentes. Segundo CANÃS-GUERRERO (2014, p. 13), com o objetivo de revelar tendências mundiais do desenvolvimento científico, a análise bibliométrica inclui processos quantitativos e visuais para identificar padrões e dinâmicas em publicações científicas que possam servir como um guia para futuras pesquisas.

HUANG et al (2012, p. 40) afirmam que a bibliometria, uma vez que quantifica os níveis de atividade científica e identifica padrões nos registros bibliográficos de P&D, vem contribuindo para estudos científicos e tecnológicos ao longo de décadas.

Diversos estudos tem se utilizado da análise bibliométrica para melhor entendimento da ciência. ROJAS SOLA e SAN-ANTONIO GÓMEZ (2010), com o intuito de medir a área de engenharia química no México, se utilizaram de estudos de bibliometria para quantificar o conhecimento produzido por instituições mexicanas nessa área. Os autores identificaram o Instituto Mexicano de Petróleo como a instituição com maior número de publicações e a Universidade Autônoma do México como a instituição com maior número de citações por artigo publicado.

RESTREPO, LLANOS e SILVA (2013, p. 492), através da bibliometria e da análise de redes sociais, analisaram a trajetória de um pesquisador da área de planejamento de fármacos e o impacto de suas obras na comunidade científica caracterizado pela citação de seus trabalhos, pela adoção temática e léxica proposta pelo autor, dentre outras características.

ROMO-FERNÁNDEZ et al (2011, p. 2529) estudaram a produção científica europeia nos campos da energia renovável, sustentabilidade e meio ambiente no período de 2002 a 2007 com o objetivo de melhor compreender a evolução de tendências emergentes em energias renováveis. Seguindo a mesma linha e tema, RIZZI, VAN ECK e FREY (2014, p. 657) focam na produção científica mundial com especial interesse na criação de políticas regulatórias e na transição tecnológica.

Também, referente à literatura técnico-científica, vários trabalhos apresentam a exploração do uso da informação contida nesse tipo de fonte para construção de conhecimento e insumo para inovação (APONTE F. et al, 1997; CINDRELLA et al, 2009; YAOYANG e BOEING, 2013; KIRIYAMA et al, 2013; ALEIXANDRE et al, 2013; KATO e ANDO, 2013; WANG, Q. et al, 2014; MOYA ANEGÓN, LÓPEZ ILLESCAS e MOED, 2014; STOOPS, 2014).

Para a análise da literatura técnico-científica foi utilizado o VantagePoint[6], um *software* de mineração de textos especializado em análise de textos estruturados ou semiestruturados. Segundo avaliação de VERGARA, COMAI e MILLÁN (2006, p. 115-116), o VantagePoint é

[6] https://www.thevantagepoint.com/

uma ferramenta eficiente para determinação de relacionamentos e tendências em grandes conjuntos de dados, especialmente dados de cunho científico e tecnológico como artigos e patentes. A análise das palavras-chave foi realizada através do Wordle[7]. Segundo WILLIAMS, PARKES e DAVIES (2011, p. 45), o Wordle produz nuvens de palavras que permitem a compreensão geral dos temas tratados em um texto a partir da explicitação dos termos utilizados com maior frequência.

Para análise do estado da técnica do hidrorrefino de petróleo foram utilizados os documentos de patentes. Esse tipo de documento é considerado fonte privilegiada para o acompanhamento do estado da arte de tecnologias, e, por conseguinte, fonte para os processos de prospecção tecnológica e monitoração da concorrência. De acordo com GRANDJEAN et al (2005, p. 211), a análise de carteiras de patentes pode dar ideia razoavelmente precisa do volume de atividade em áreas específicas de pesquisa, revelar as tendências subjacentes, e detectar informações emergentes, obscuras ou mesmo desvios em padrões esperados. Nos documentos de patentes estão contidas as informações mais recentes sobre um desenvolvimento tecnológico e, segundo SHIH, LIU e HSU (2010, p. 2882), uma patente surge quando uma nova técnica é desenvolvida ou quando um produto revolucionário é criado. A análise de documentos de patentes também pode produzir uma riqueza de informações relacionadas às atividades de pesquisa, como, por exemplo, as colaborações criadas em função da necessidade de agregação de conhecimento por seus desenvolvedores. O documento de patente é declarado por LUCHENG, YANHUA e ZHIHUA (2010, p. 618) como a principal fonte mundial de informação técnica, contendo de 90 a 95 % da informação científica e tecnológica produzida mundialmente. Análises das informações provenientes de documentos de patentes têm sido usadas para obtenção de percepções sobre diversas questões tecnológicas, econômicas e sociais, e também para analisar essas mesmas questões entre os concorrentes dentro e fora da indústria em que estes se encontram, além de ajudar na formação de estratégias tecnológicas conforme narra TRAPPEY et al. (2011, p. 54)

Vários trabalhos apresentam a exploração do uso da informação contida em documentos de patentes para construção de conhecimento e insumo para inovação (NARIN e NOMA, 1978; BASEBERG, 1982; GUPENG e XIANGDONG, 2012; TEIXEIRA, GUIMARÃES e TRINDADE, 2013a; HWANG, 2013; HE e LI, 2013; YANG, XU e NEUHÄUSLER, 2013; CHOI e HWANG, 2013; GAO et al, 2013; PARK et al, 2013; ENDACOTT e POOLMAN, 2013; TEIXEIRA, GUIMARÃES e TRINDADE, 2013b; CHEN, CHEN e YAU, 2014; KIM, 2014).

A base de patentes escolhida como fonte nesta dissertação é a FamPat, disponibilizada pela empresa francesa Questel. O banco de dados FamPat oferece acesso a mais de 60 milhões de documentos de patentes provenientes de 87 escritórios nacionais e seis escritórios regionais. O *software* Questel Orbit foi utilizado para busca e análise dos documentos de

[7] http://www.wordle.net

patentes sobre as tecnologias de hidrorrefino de petróleo. Através desse *software*, a recuperação de documentos é agrupada de acordo com a família da patente, o que facilita a limpeza dos dados uma vez que dispensa o processo de retirada de redundâncias.

III.2 Fontes e análise dos dados

Para a realização do levantamento de dados sobre o hidrorrefino de petróleo, foram selecionadas as seguintes bases de dados:

a. Evaluate Energy[8] para recuperação dos dados operacionais sobre o refino de petróleo;
b. EnCompassLIT[9] da Engineering Village para a recuperação da literatura técnica e científica com foco específico em hidrorrefino;
c. FamPat[10] da Questel a partir do *software* Orbit para a recuperação de documentos de patentes, também sobre o hidrorrefino de petróleo.

Conforme anteriormente mencionado, os dados operacionais de refino de petróleo do ano 2013, utilizados no presente estudo, são oriundos da base de dados Evaluate Energy. Esta base apresenta dados financeiros e de operação da indústria do petróleo a partir do ano de 1988. Os dados são disponibilizados já normalizados em relação às unidades de medidas ou monetárias, o que suprime grande parte do trabalho do pré-processamento dos mesmos.

A Tabela III.1 apresenta a lista das palavras-chave utilizadas como termos de busca nas bases de dados EnCompassLIT e FamPat e o resultado da recuperação de documentos para cada termo isolado.

[8] http://www.evaluateenergy.com/
[9] http://www.engineeringvillage.com
[10] http://www.orbit.com/

Tabela III.1 – Lista de palavras-chave utilizadas na composição da estratégia de busca e respectivos resultados nas bases EnCompassLIT e FamPat. Fonte: Elaboração própria.

Palavras-chave	Tradução para o idioma das bases (inglês)	Número de documentos recuperados	
		EnCompassLIT	FamPat
hidrorrefino	hydrorefining	685	743
hidrotratamento	hydrotreatment	4.782	950
hidroprocessamento	hydroprocessing	2.065	954
hidroacabamento	hydrofinishing	205	190
hidroconversão	hydroconversion	756	821
hidrocraqueamento	hydrocracking	13.330	3.883
hidrodesmetalização	hydrodemetallization	1.114	124
hidrodessulfurização	hydrodesulphuri?ation	234	423
hidrodesparafinação	hydrodewaxing	292	153
hidroisodesparafinação	hydroisodewaxing	3	2
hidroisomerização	hydroisomeri?ation	2.070	581
hidrogenação de olefinas	"olefin hydrogenation"	245	54
hidrogenação de aromáticos	"aromatic hydrogenation"	67	54
hidrodesoxigenação	hydrodeoxygenation	787	121
hidrodesnitrogenação	hydrodenitrogenation	3.200	170

A estratégia de busca, utilizada para ambas as bases de dados, foi composta a partir da junção de todas as palavras-chave listadas na Tabela III.1, uma vez que a busca isolada com cada uma destas palavras recuperou pelo menos um artigo ou patente e o escopo temporal das buscas foi limitado a até o ano de 2013:

> *(hydrorefining or hydrotreatment or hydroprocessing or hydrofinishing or hydroconversion or hydrocracking or hydrodemetallization or hydrodesulphuri?ation or hydrodewaxing or hydroisodewaxing or hydroisomeri?ation or "olefin hydrogenation" or "aromatic hydrogenation" or hydrodeoxygenation or hydrodenitrogenation) and (petroleum or hydrocarbon)*

Na base EnCompassLIT, que indexa trabalhos a partir do ano de 1962, a estratégia de busca foi utilizada nos campos Título, Resumo e Palavras-chave e apenas os documentos classificados como Artigos no campo Tipo de Documento foram considerados. O resultado, que será objeto de análise do presente estudo, é de 15.099 artigos.

Para esse conjunto de documentos foram realizadas as seguintes análises para mapeamento do estado da arte da tecnologia de hidrorrefino de petróleo:

a. Evolução temporal da publicação de artigos;

b. Identificação dos principais atores na pesquisa e desenvolvimento da tecnologia nos níveis macro (países), meso (empresas e outras instituições) e micro (pesquisadores);
c. Caracterização da colaboração para pesquisa e desenvolvimento da tecnologia;
d. Detalhamento da tecnologia através da análise de assunto dos documentos.

Na base FamPat os campos Título e Resumo foram utilizados para a busca, que resultou em 3.607 documentos de patentes, ou seja, pedidos de patentes e patentes concedidas, publicados até o ano de 2013.

Para esse conjunto de dados foram realizadas as seguintes análises com vista ao mapeamento do estado da técnica da tecnologia de hidrorrefino de petróleo:

a. Evolução temporal da publicação de documentos de patentes;
b. Origem e difusão da tecnologia;
c. Identificação dos principais atores na pesquisa e desenvolvimento da tecnologia nos níveis macro (países), meso (empresas e outras instituições) e micro (pesquisadores);
d. Caracterização da colaboração para pesquisa e desenvolvimento da tecnologia;
e. Apresentação dos principais mercados de interesse segundo os desenvolvedores da tecnologia;
f. Detalhamento da tecnologia através da análise de assunto dos documentos.

Para complementar a análise dos dados foi feita a proposição de um modelo simples para a capacidade de processamento por hidrocraqueamento através de regressão múltipla. Esse modelo, que teve por objetivo identificar fatores que influenciam a instalação da capacidade de processamento por HCC, fez uso dos seguintes dados consolidados: número de artigos publicados, número de patentes publicadas, capacidade de destilação e capacidade de processamento por HCC, como mostrados no Apêndice I.

III.3 Síntese do método adotado

A Figura III.1 apresenta a síntese do método adotado no presente estudo. Segue, nos capítulos seguintes, um panorama do hidrorrefino de petróleo pelo mapeamento do perfil geográfico, tecnológico e estratégico do refino de petróleo a partir das fontes escolhidas.

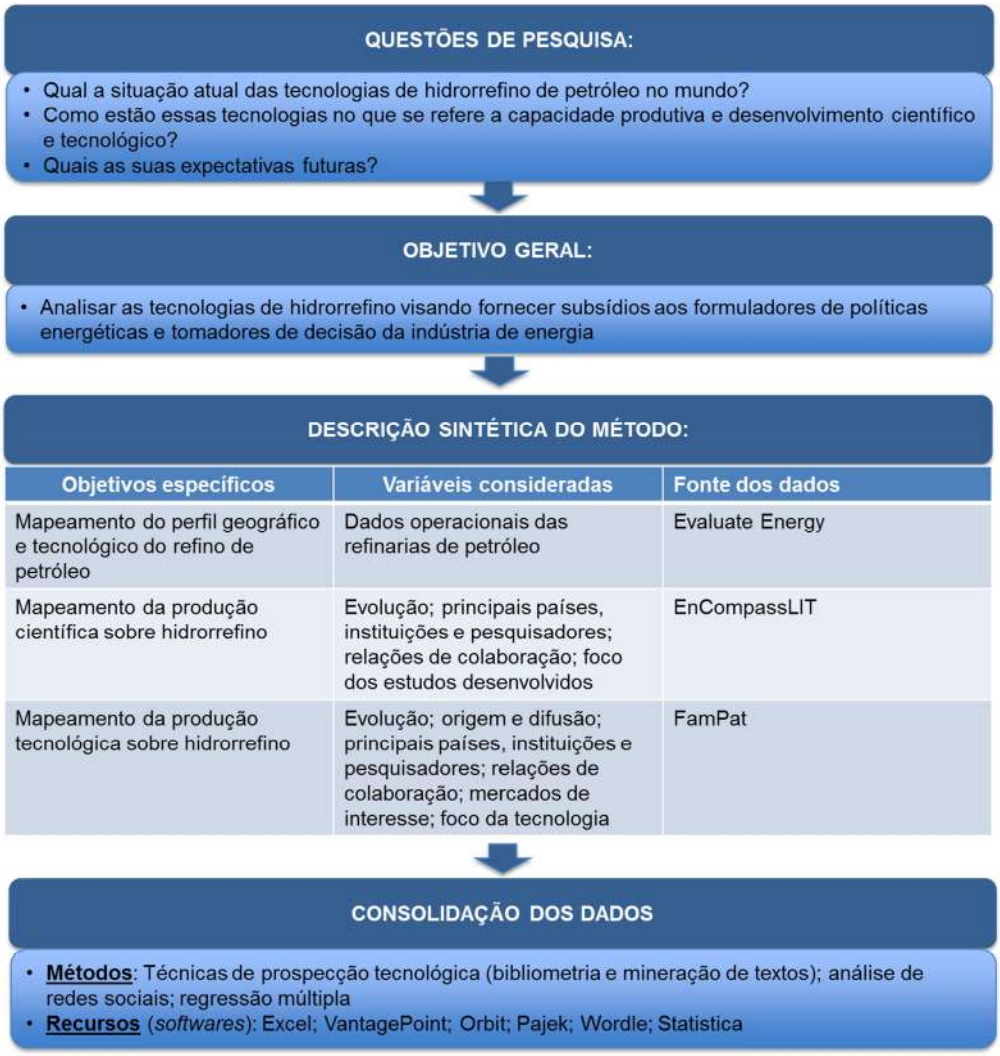


Figura III.1 – Síntese do método adotado. Fonte: Elaboração própria.

Capítulo IV - Estudo panorâmico a partir dos dados operacionais

Este capítulo apresenta os resultados do mapeamento do perfil geográfico e tecnológico do refino de petróleo no mundo a partir da situação da capacidade produtiva instalada, vislumbrada através dos dados operacionais do refino.

IV.1 Perfil geográfico do refino de petróleo

O parque de refino mundial, até o ano de 2013, era composto por 779 refinarias de petróleo distribuídas em 126 países e operadas por 386 empresas ou conjuntos de empresas.

A região da Ásia-Pacífico possui o maior número de refinarias, sendo 217 em plena operação e 27 em planejamento. Seis refinarias asiáticas estão fechadas e outras seis não possuem dados disponíveis quanto a sua situação atual. As demais regiões também são detalhadas na Figura IV.1, que apresenta a distribuição geográfica das refinarias por região, com destaque para a situação de operação das refinarias.

As refinarias em planejamento, bem como as fechadas e também a refinaria que aguarda início de operação, não possuem dados de operação disponíveis e, portanto, essas refinarias não foram consideradas para a construção do perfil tecnológico do refino mundial, que é elaborado com o total das 662 refinarias em plena operação.

Sobre as refinarias em fase de planejamento, as mesmas somam um total de 76 e seguem a seguinte distribuição: 27 na Ásia-Pacífico, 19 na África, 13 no Oriente Médio, 13 na América Latina, três na América do Norte e uma na Europa.

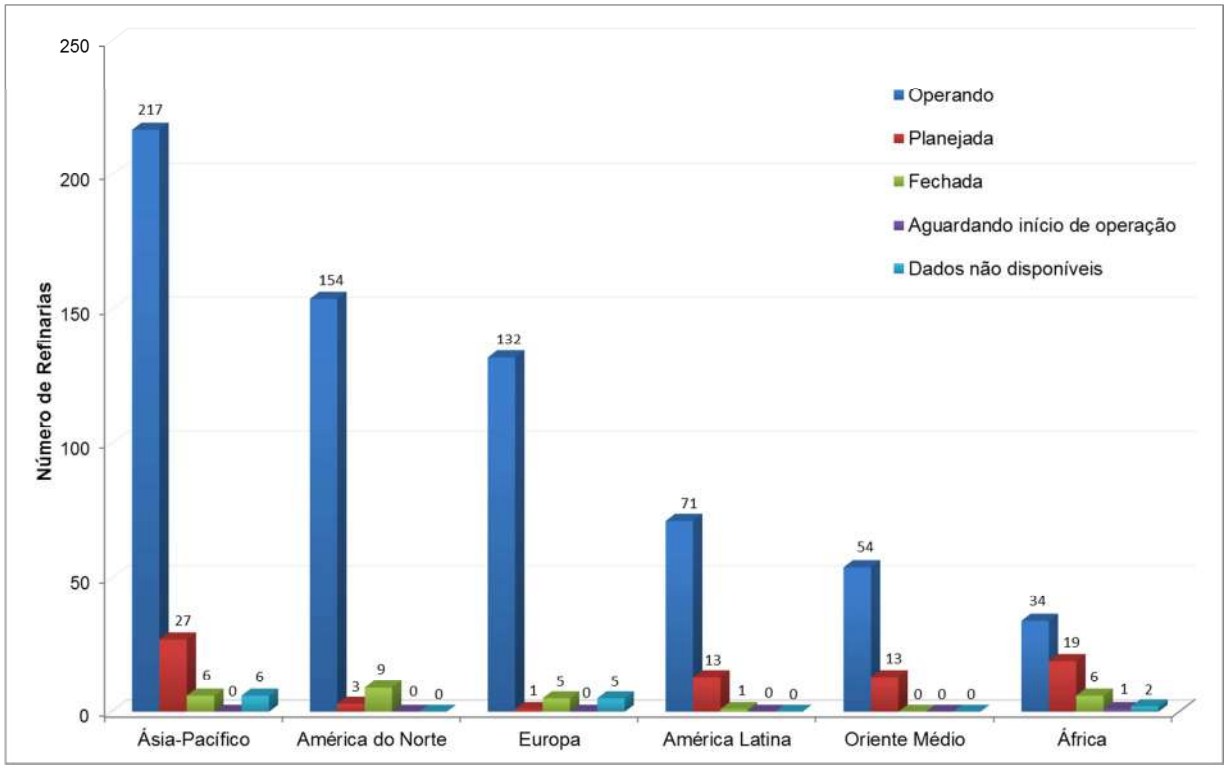


Figura IV.1 – Distribuição geográfica das refinarias por região. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados recuperados na base Evaluate Energy.

IV.1.1 África

O continente africano concentra 7,9 % do parque de refino mundial ou, em números exatos, 62 refinarias. Uma refinaria na Nigéria aguarda início de operação. Seis refinarias estão desativadas, sendo cinco de propriedade da Libyan National Oil Corporation na Líbia e uma em Madagascar, o que representa 378 mil barris[11] de óleo destilados por dia a menos no total da região se comparado aos dados de 2012. A Líbia, apesar de ser o país africano detentor da maior reserva de petróleo do continente e ter uma economia fortemente pautada no petróleo[12] (EIA, 2013, p.1), não é citada na Figura IV.2 onde são apresentados os potenciais de destilação dos países da África. Segundo FARGE (2011), as refinarias da Líbia estão paradas desde agosto de 2011 em função de guerra civil no país.

A região africana possui atualmente 34 refinarias em produção, o que representa a capacidade de destilação de 2.310 mil barris de óleo por dia, ou 2,5 % do petróleo destilado no mundo.

Em relação aos outros processos de refino, a distribuição na região é 3,3 % da reforma, 1,6 % da viscorredução, 1,4 % do craqueamento catalítico, 0,5 % do hidrocraqueamento e

[11] Um barril de petróleo equivale a aproximadamente 159 litros de petróleo.
[12] A exportação de óleo e gás corresponde a 96 % das receitas do governo da Líbia.

0,3 % do craqueamento térmico. A região não possui refinarias com processo de coqueamento. A média da complexidade das refinarias no continente é de 3,9, sendo a média global das refinarias de 6,5.

Para o futuro do refino no continente, seis dessas refinarias em produção estão em processo de expansão, sendo três na Argélia, uma no Marrocos, uma em Angola e uma em Camarões. Outras 19 novas refinarias são planejadas para aumento da capacidade do refino de petróleo no continente. A África do Sul possui o maior projeto de refinaria da região. De propriedade da empresa PetroSA (Petroleum Oil and Gas Corporation of South Africa), a refinaria Coega terá capacidade diária de destilação de 400 mil barris de óleo e tem previsão de início de operação para o ano de 2015.

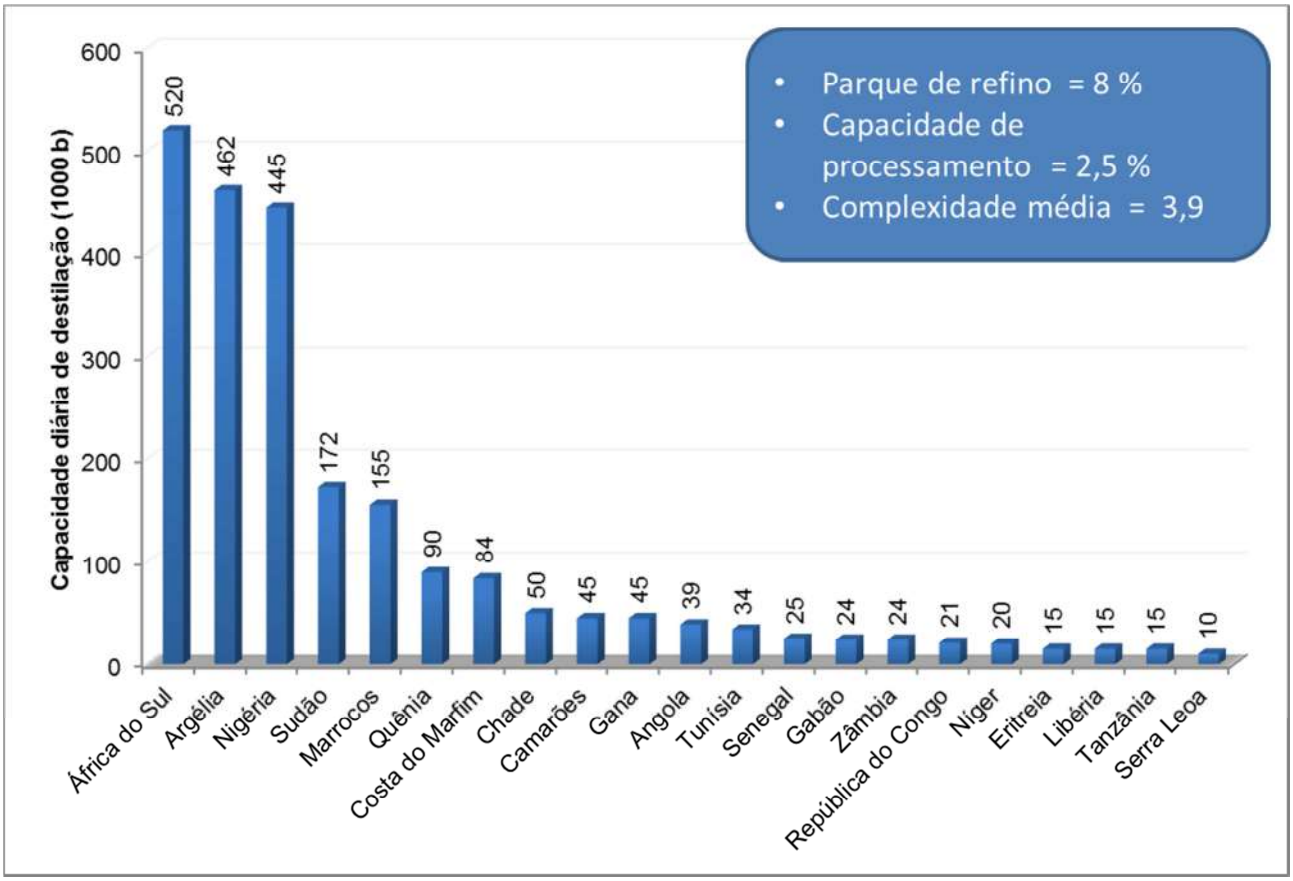


Figura IV.2 – Distribuição da capacidade de destilação por país na região africana. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base Evaluate Energy.

IV.1.2 América do Norte

A América do Norte possui 166 refinarias, sendo que nove delas estão fechadas. A região possui atualmente 154 refinarias em produção, o que representa a capacidade de

destilação de 20.633 mil barris de óleo por dia. Para o futuro do refino no continente, 14 dessas refinarias em produção estão em processo de expansão e outras três são planejadas, sendo duas nos Estados Unidos e uma no Canadá. A média da complexidade das refinarias na região é de 9,0.

A indústria de refino norte-americana passa por uma significativa mudança dado o aumento da produção de petróleo a partir do *shale* e das areias betuminosas canadenses, como narrado por SHAFI (2014, p.1). O crescimento da produção norte-americana de petróleo está pressionando o preço do petróleo bruto de origem local, tornando-o uma matéria-prima mais barata em comparação com o óleo cru importado, o que aumenta a rentabilidade das refinarias que têm acesso a esse petróleo.

A Figura IV.3 apresenta a distribuição da capacidade de destilação na região. O México não aparece na referida figura porque a base de dados Evaluate Energy inclui a produção mexicana na região da América Latina.

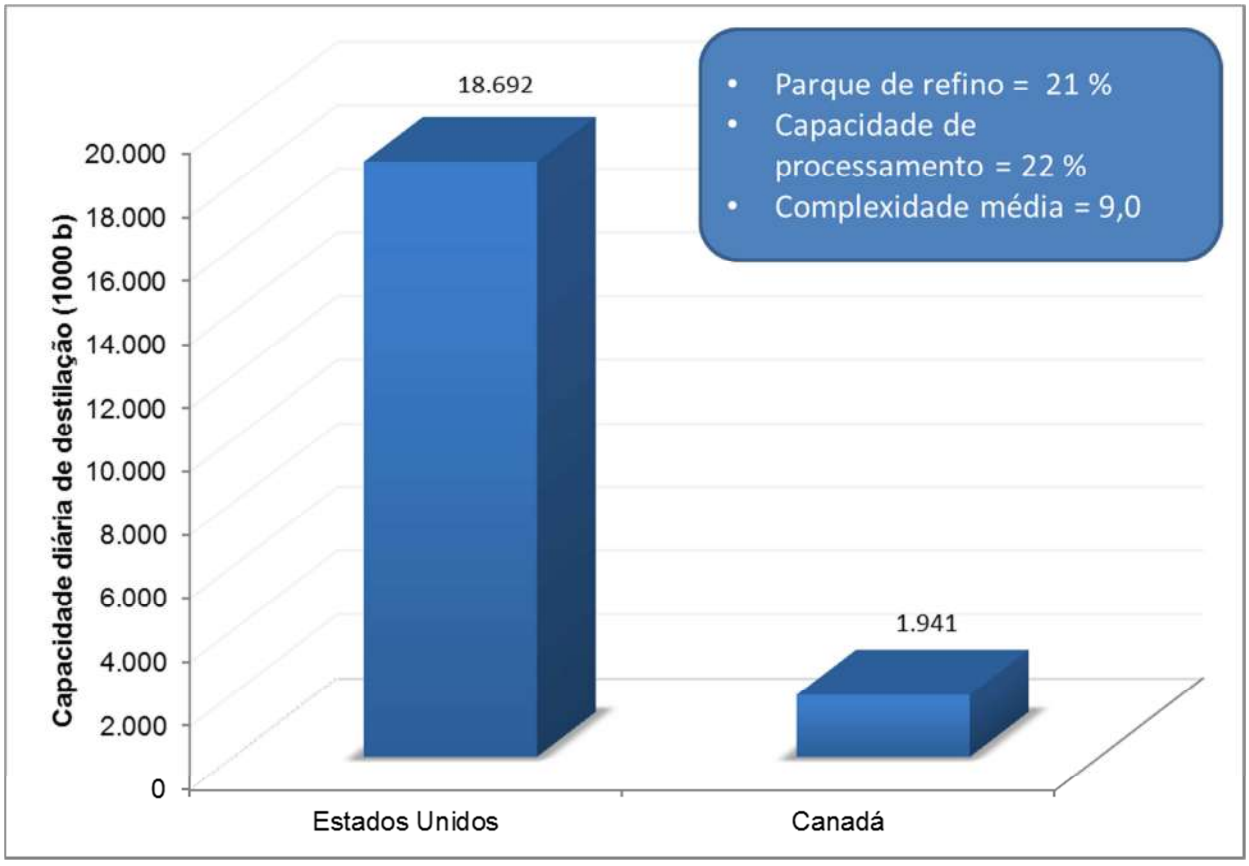


Figura IV.3 – Distribuição da capacidade de destilação por país na região da América do Norte.
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base Evaluate Energy.

IV.1.3 América Latina

A América Latina possui 85 refinarias; uma delas, nas Ilhas Virgens, está fechada. A região possui atualmente 71 refinarias em produção, o que representa a capacidade de destilação de 8.134 mil barris de óleo por dia.

Das 71 refinarias atualmente em operação na América Latina, 23 estão em fase de expansão e modernização, além de outras 13 planejadas que se encontram em fase de construção. A média atual da complexidade das refinarias no continente é de 4,8. A Figura IV.4 apresenta a distribuição da capacidade de destilação na região.

O Brasil é o país com maior capacidade de destilação de petróleo da América Latina. Do total de 2.009 mil barris de petróleo destilados por dia no país, 97,5 % são processados pela Petrobras (Petróleo Brasileiro S.A.). A empresa possui 15 refinarias, sendo quatro em construção e 11 em operação. Destas últimas, seis se encontram em processo de expansão. Uma das refinarias, com previsão de início das obras para 2015, quando finalizada será a maior refinaria da região, com capacidade de processamento de 600 mil barris de petróleo por dia. O parque de refino brasileiro ainda é antigo e a média de complexidade das refinarias brasileiras é 4,3.

O México, segundo país em capacidade de destilação na região, possui apenas seis refinarias, além de uma em construção. Todo o parque de refino mexicano pertence à empresa PEMEX (Petróleos Mexicanos) e a complexidade média das refinarias é 8,3. A capacidade de refino da PEMEX, a despeito de não gerar lucro para a empresa, se mantém estável desde 2007, apesar do declínio de 25 % da produção de petróleo nos últimos 10 anos (MEXICAN, 2014, p. 1). O México é rico em hidrocarbonetos, possui a terceira maior reserva da América Latina, mas não tem os recursos necessários para desenvolver esses ativos, aumentando a dependência das importações do petróleo que o país necessita para a produção dos derivados que utiliza. De acordo com estimativas (MEXICAN, 2014, p. 1), o país poderá se tornar um importador de petróleo em 2020 caso o governo não faça nenhuma reforma energética que revitalize investimentos em todo o setor.

A Venezuela também possui mercado exclusivo para a empresa nacional, PDVSA (Petróleos de Venezuela S.A.), que conta com cinco refinarias em operação e quatro em planejamento. O parque de refino venezuelano possui complexidade média de 3,9. A empresa participa de projetos em outros países, como o projeto de uma mega refinaria no Equador, em conjunto com a PetroEcuador e a CNPC (China National Petroleum Corporation). O projeto, chamado de Refinaria do Pacífico, que tem custo total estimado em 10 bilhões de dólares e previsão de início de operação para 2017, terá 70 % de financiamento chinês (CHINA, 2014, p. 1). A refinaria terá capacidade de processamento de 300 mil barris por dia, em contraste com os 176 mil barris por dia destilados pelas três refinarias que o Equador possui atualmente.

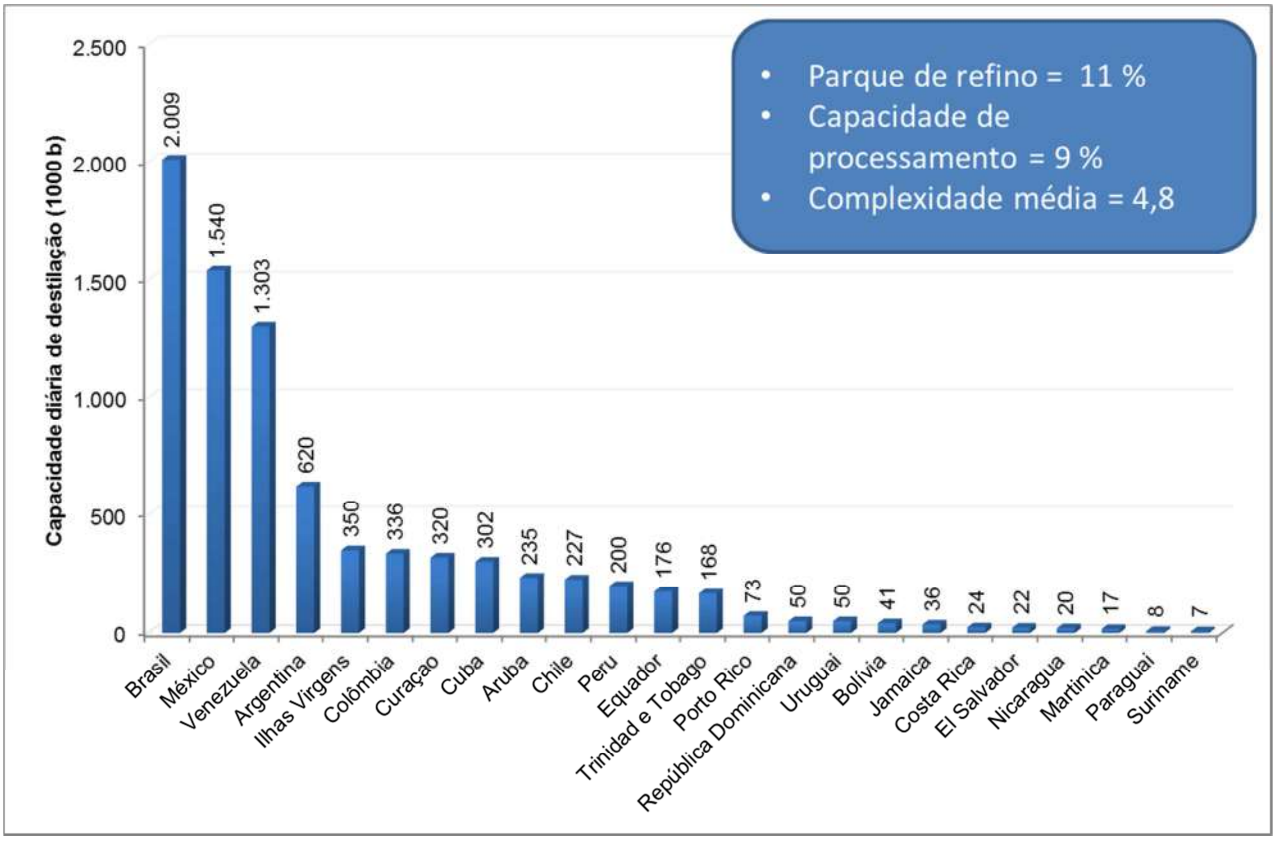


Figura IV.4 – Distribuição da capacidade de destilação por país na região da América do Sul.
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base Evaluate Energy.

IV.1.4 Ásia-Pacífico

A região da Ásia-Pacífico possui 256 refinarias. Seis refinarias estão fechadas, sendo três no Japão, uma na Malásia, uma na Austrália e uma na Geórgia. A região possui atualmente 217 refinarias em produção, o que representa a capacidade de destilação de 32.925 mil barris de óleo por dia.

A China é mundialmente o maior mercado consumidor de energia e o segundo maior consumidor de petróleo. Entre os refinadores nacionais estão as três gigantes China National Petroleum Corporation (conhecida por CNPC e por sua subsidiária PetroChina), a China Petroleum & Chemical Corporation (conhecida por Sinopec) e a China National Offshore Oil Corp. (conhecida por CNOOC). O país possui ainda outras duas empresas voltadas ao processamento de petróleo, a Shaanxi Yanchang Petroleum Group. e a Sinochem Corporation.

A China vem mudando o seu perfil de atuação; do total das 67 refinarias chinesas, nenhuma em operação possui parceria com empresas não nacionais, porém, para as refinarias futuras, cinco têm participação de empresas estrangeiras: a russa Rosneft (49 %), a saudita Saudi Aramco (50 %) e a venezuelana PDVSA (40 %), cada uma em parceria com a PetroChina; além da Kuwait Petroleum Corporation (50 %), em parceria com a Sinopec, e da francesa Total, que tem participação de 22 % na *joint venture* Dalian West Pacific Petrochemical Corporation Ltd. (WEPEC) formada com as chinesas PetroChina (28 %), Sinopec (23 %) e CNPC (25 %).

A Rússia é o maior produtor de hidrocarbonetos líquidos (petróleo e óleo condensado) do mundo e o segundo maior destilador de petróleo na região asiática. O país tem planos de aumentar o valor agregado de seus produtos exportados e para isso investe na revisão de seu parque de refino, que data da década de 1940. Novas unidades de hidrocraqueamento estão previstas, o que causará grande impacto aos países europeus que recebem óleo bruto russo para matéria-prima de suas refinarias, forçando esses países a buscarem óleo bruto de outra fonte ou pagar por produtos acabados. A Rússia também pretende triplicar o volume de petróleo exportado para a China, o que também afetará o mercado europeu.

De forma geral, a região tem planos de aumentar a capacidade de processamento de petróleo num futuro breve. Das refinarias em operação, 33 dessas se encontram em processo de expansão, além de outras 27 em planejamento. A média da complexidade das refinarias asiáticas é 5,5.

A Figura IV.5 apresenta a distribuição da capacidade de destilação na região.

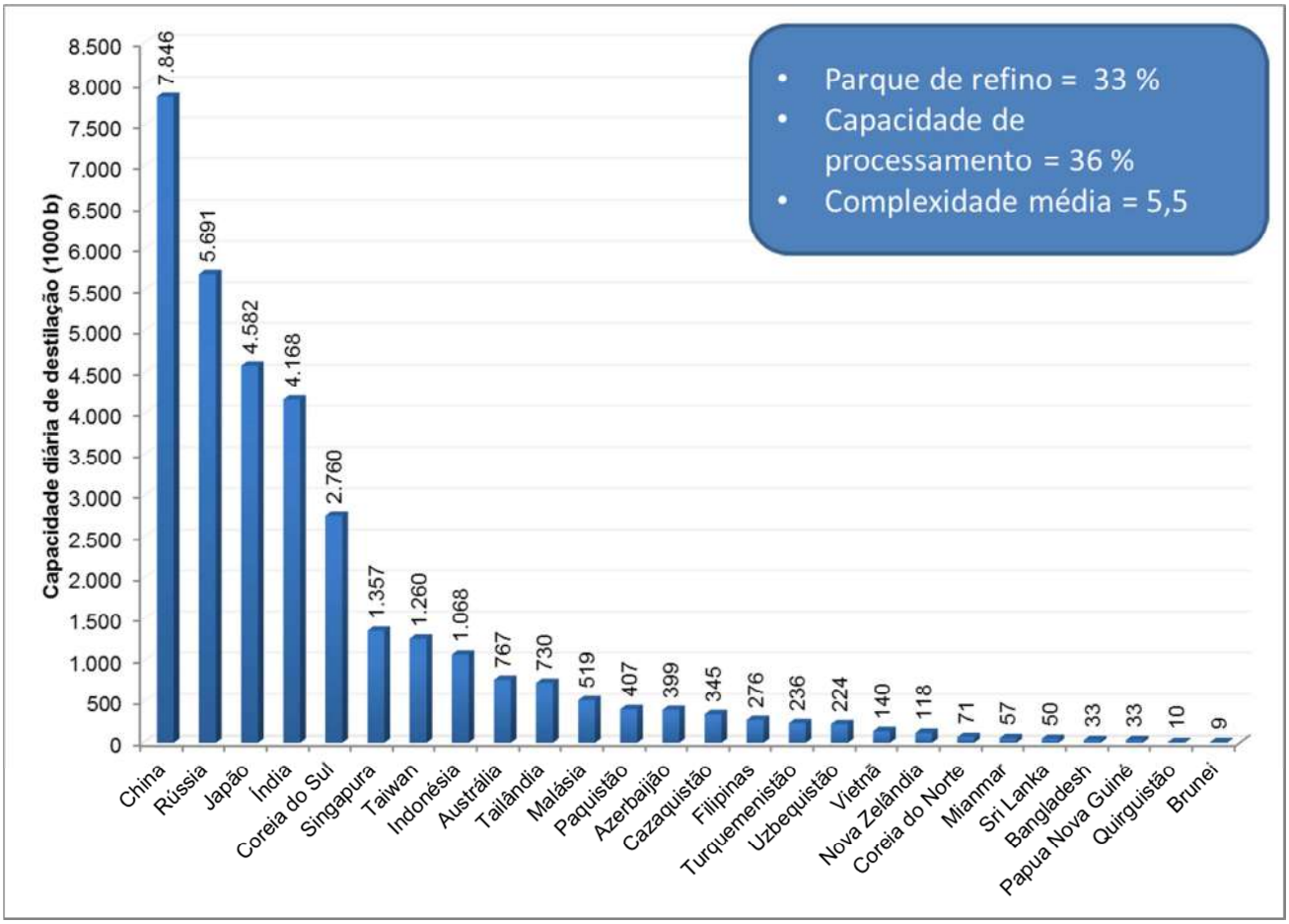


Figura IV.5 – Distribuição da capacidade de destilação por país na região da Ásia-Pacífico.
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base Evaluate Energy.

IV.1.5 Europa

O continente europeu possui 143 refinarias. Cinco refinarias estão fechadas, sendo duas no Reino Unido, uma na França, uma na Itália e uma na Romênia. O continente possui atualmente 132 refinarias em produção, o que representa a capacidade de destilação de 18.641 mil barris de óleo por dia.

A Itália é o país europeu com maior capacidade de destilação de petróleo, 2.387 mil barris por dia num total de 15 refinarias. O país é dependente da importação de óleo bruto e também de gás natural para o suprimento de sua demanda de energia. A Líbia, o Azerbaijão, a Arábia Saudita e a Rússia são seus principais fornecedores. A média de complexidade das refinarias italianas é 8,0.

A Alemanha é o maior mercado consumidor de energia da região e o sétimo maior consumidor de energia do mundo. Grande parte dessa energia é importada e o petróleo representa quase 40 % do total de energia primária consumida no país, sendo o setor de

transporte o maior demandante de petróleo. O governo alemão, para diminuir a dependência do petróleo, planeja colocar nas ruas um milhão de veículos elétricos até 2020 e seis milhões até 2030. O país é líder regional e mundial em várias categorias de energia renovável, como: eletricidade não hídrica, biodiesel e eólica, além de ter sido o maior produtor mundial de energia solar em 2011.

O Reino Unido é o terceiro maior destilador de petróleo da Europa, com processamento de 1.789 mil barris por dia, exportando para diversos países europeus, principalmente para os Países Baixos e para a Alemanha. Sobre as importações, o Reino Unido compra petróleo principalmente da Noruega, Rússia e Nigéria. Das nove refinarias em operação, duas, uma da estadunidense Phillips 66 e outra da francesa Total, encontram-se em expansão. Cada uma dessas refinarias tem capacidade de destilação de 221 mil barris por dia. Outras empresas com considerável capacidade de refino no Reino Unido são a indiana Essar Group (272 mil barris/dia) e as estadunidenses ExxonMobil Corporation (330 mil barris/dia) e Valero Energy Corporation (210 mil barris/dia).

Para o futuro do refino europeu, 21 refinarias em produção estão em processo de expansão. Uma única refinaria é planejada, na Turquia; terá capacidade de processamento de 241 mil barris diários e será operada através de uma *joint venture* formada pela azéri SOCAR (State Oil Company of Azerbaijan Republic) e pela turca Turcas Petrol A.S. A média da complexidade das refinarias europeias é de 6,9. A Figura IV.6 apresenta a distribuição da capacidade de destilação na região.

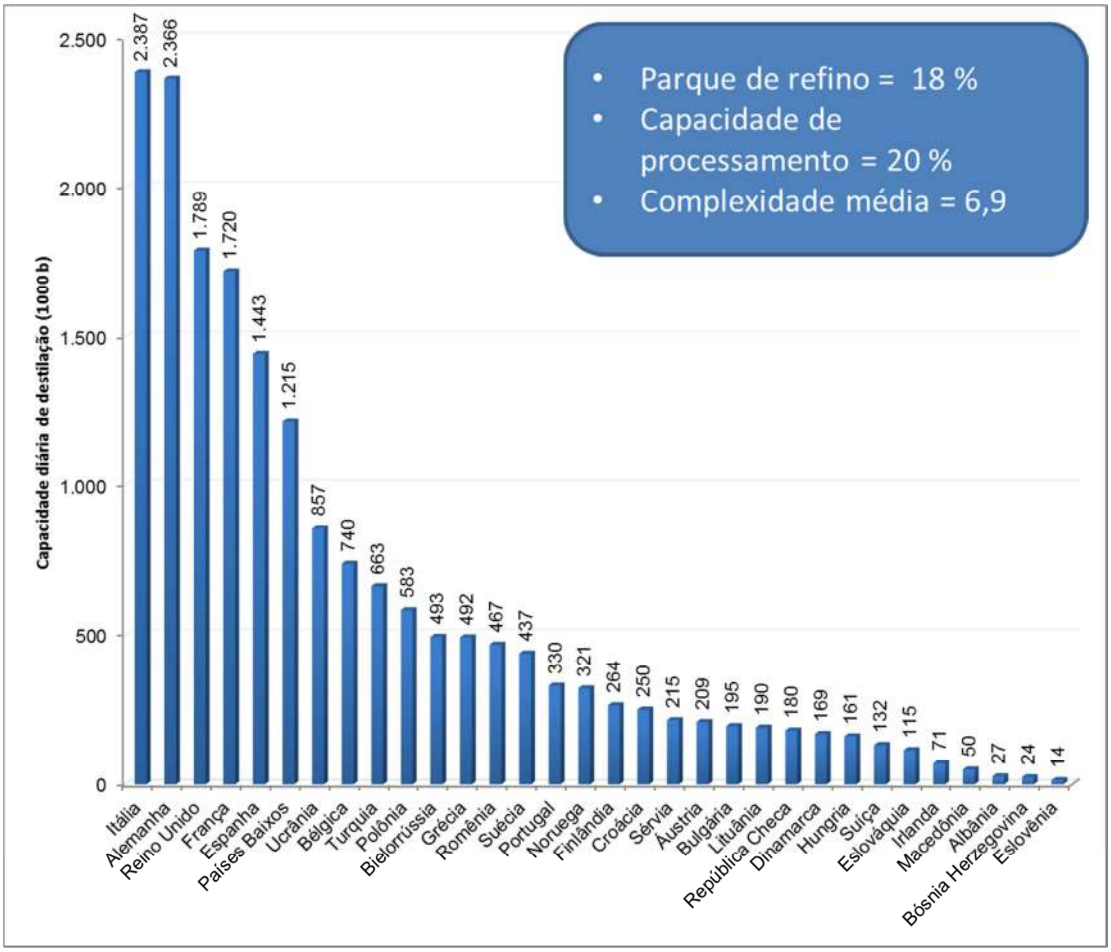


Figura IV.6 – Distribuição da capacidade de destilação por país na região europeia. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base Evaluate Energy.

IV.1.6 Oriente Médio

O Oriente Médio possui 67 refinarias, com 54 destas em plena operação, o que representa a capacidade de destilação de 8.427 mil barris de óleo por dia. Quase um terço desse total é processado na Arábia Saudita, que em 2012 foi o maior produtor e exportador mundial de óleo bruto, além de ser o maior detentor de reservas de petróleo e o segundo maior produtor de hidrocarbonetos líquidos do mundo, atrás apenas da Rússia. Cerca de 90 % da receita de exportação do país vem da venda de petróleo. A empresa saudita Saudi Aramco (Saudi Arabian Oil Company) opera a maior planta de pré-processamento e estabilização de petróleo do mundo, onde aproximadamente dois terços do petróleo saudita é preprocessado antes da exportação ou da entrega nas refinarias. O país possui três refinarias em planejamento mas, como nos demais países do Oriente Médio, o refino é voltado ao mercado interno.

O Irã é o segundo maior processador de petróleo da região, com capacidade atual de 1.451 barris de óleo por dia. Possui nove refinarias em operação, todas da National Iranian Oil Products Refining & Distribution Company (NIORC); destas, duas estão em processo de expansão e mais uma em planejamento pela empresa Mazandaran Oil Refinery Company. Toda a demanda de refino do país é voltada para o suprimento do mercado interno com o objetivo de diminuir a importação de derivados, especialmente gasolina e diesel.

Para o futuro do refino na região, 12 das refinarias em produção estão em processo de expansão e outras 13 são planejadas. A média da complexidade das refinarias do Oriente Médio é 4,1.

A região é detentora de cerca de 60 % das reservas mundiais de petróleo, sendo também a maior exportadora de óleo cru do mundo. Em 2012, o volume de exportação, medidos no equivalente a barris diários, chegou a 17.646 milhões para óleo cru e 2.053 milhões para os produtos acabados. Em relação à importação no mesmo período, também medidos no equivalente a barris diários, o volume de importação na região foi de 222 mil para o óleo cru e 559 mil para produtos acabados. (BP, 2013, p. 19)

A Figura IV.7 apresenta a distribuição da capacidade de destilação na região.

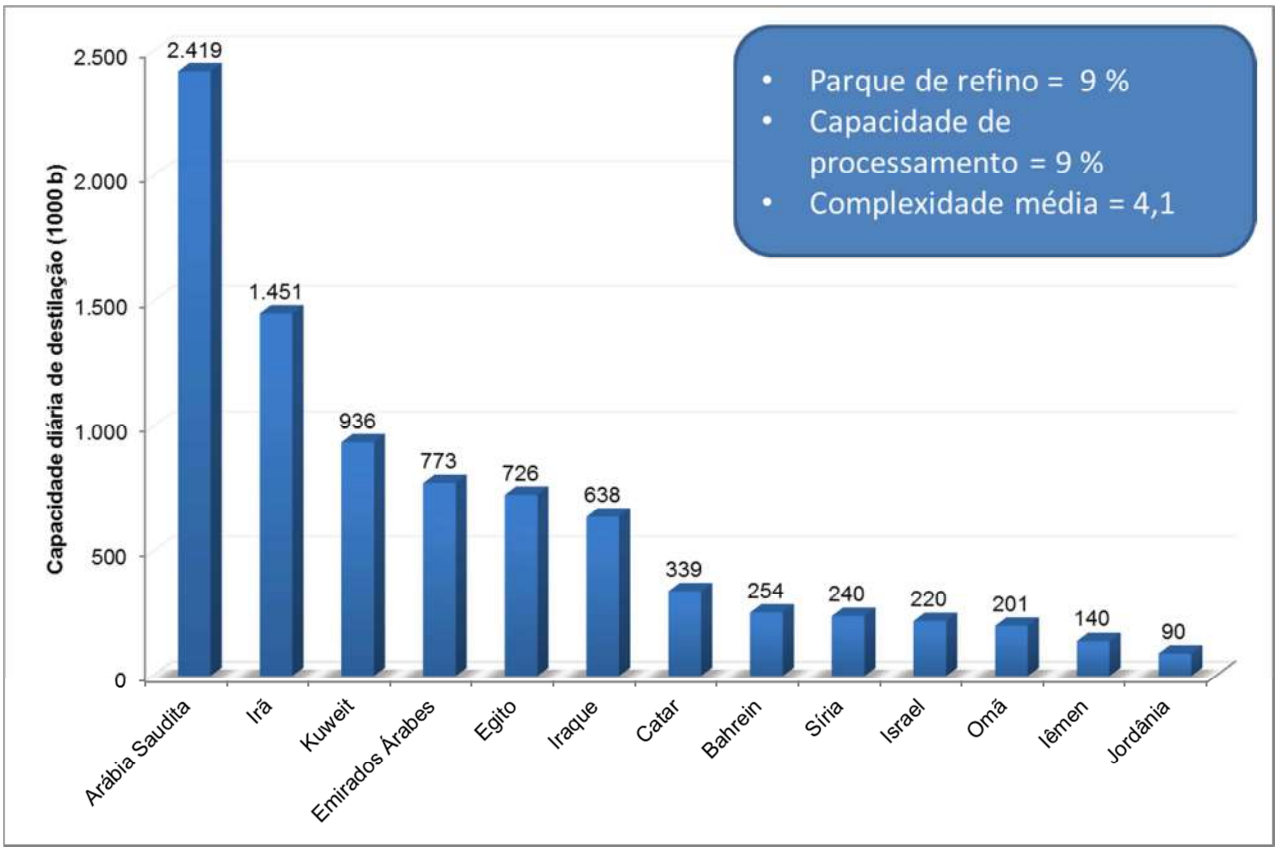


Figura IV.7 – Distribuição da capacidade de destilação por país na região do Oriente Médio.

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base Evaluate Energy.

IV.2 Perfil tecnológico do refino de petróleo

A Figura IV.8 apresenta a capacidade mundial de refino de petróleo por tipo de processo. Como descrito anteriormente, a destilação é o primeiro processo para separação das diferentes frações do petróleo, sendo, portanto, o processo mais realizado dentre todos. Atualmente mais de 90 milhões de barris de petróleo são processados todos os dias.

Através da figura citada, pode-se perceber que os processos que têm a produção de gasolina como principal objetivo final (craqueamento catalítico, reforma, hidrocraqueamento e coqueamento) são mais utilizados em detrimento de outros processos, em linha com a Figura I.3, que apresenta que o setor de transporte (movidos principalmente pela queima de combustível fóssil) consome 60 % de todo o petróleo produzido.

O processamento térmico e o craqueamento térmico são processos antigos, de difícil controle operacional e baixo rendimento. Com a modernização das refinarias, esses processos tendem a desaparecer.

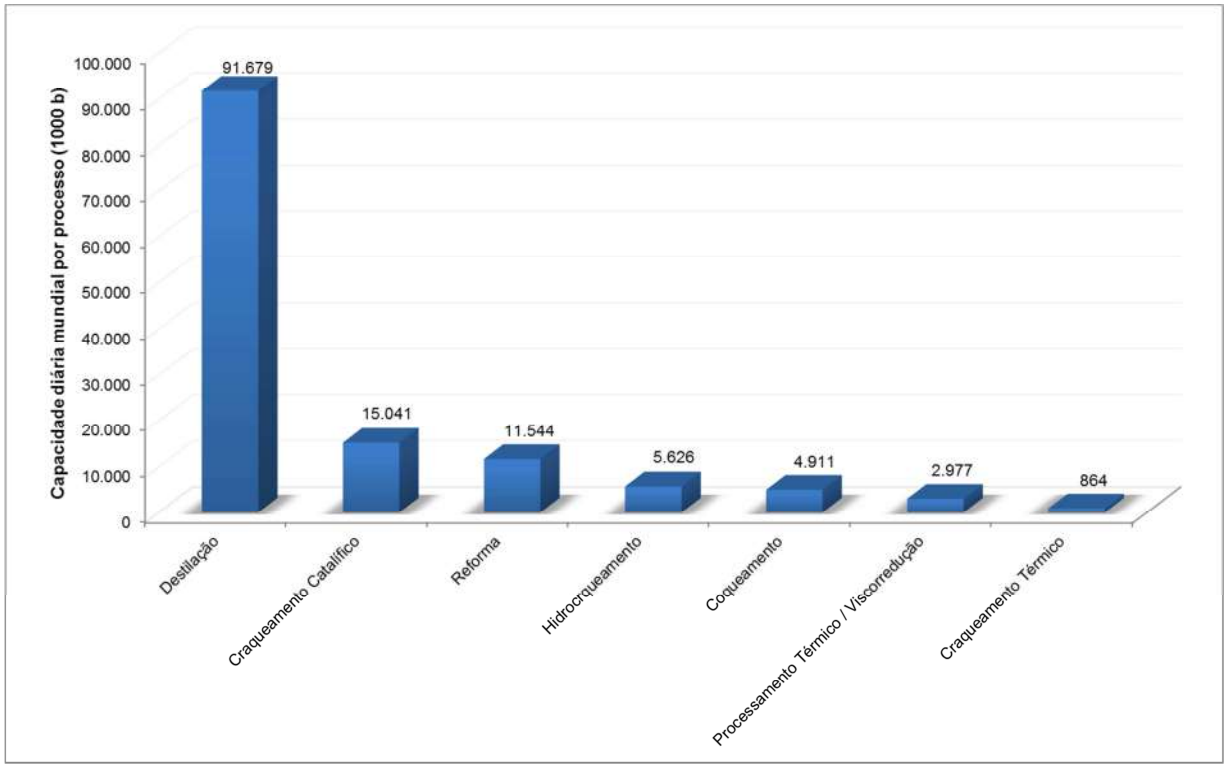


Figura IV.8 – Capacidade mundial de refino de petróleo por tipo de processo. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base Evaluate Energy.

A Figura IV.9 apresenta a distribuição tecnológica do refino de petróleo dentre as regiões. Nessa figura se observam as diferenças existentes entre as regiões, tanto na

capacidade de processamento quanto no tipo de unidade empregada para esse processamento.

A Ásia-Pacífico é a região que lidera o refino de petróleo no mundo (maior capacidade de destilação), mas é interessante notar que isso não se reflete em liderança na capacidade instalada de outros processos (craqueamento, reforma, hidrocraqueamento etc.). Tal constatação sugere que os esquemas de refino empregados nessa região são, em média, mais simples que os empregados na média global.

A América do Norte é o maior mercado consumidor de gasolina, o que se reflete no fato de que a região tem maior foco nos processos de refino voltados a esse produto, como o craqueamento catalítico (6.265 mil barris/dia), reforma (3.889 mil barris/dia), coqueamento (2.625 mil barris/dia) e hidrocraqueamento (1.971 mil barris/dia).

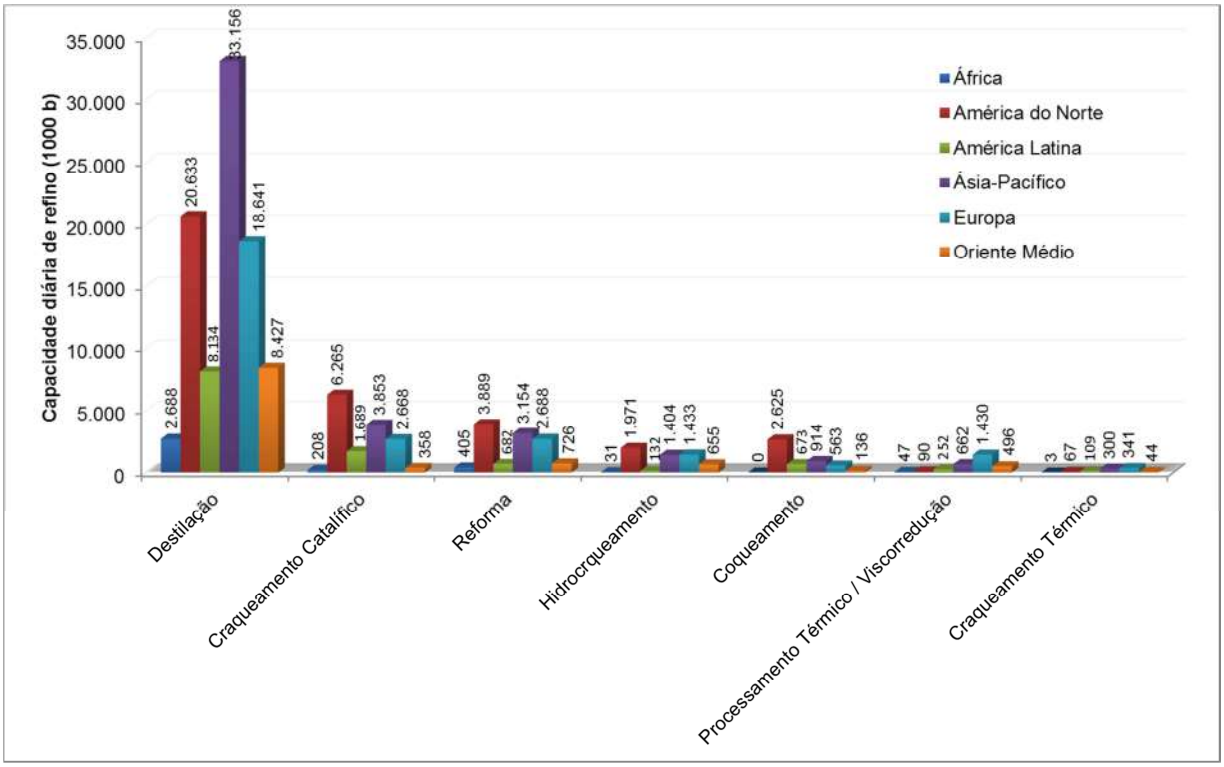


Figura IV.9 – Capacidade diária por tipo de processo de refino de petróleo. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base Evaluate Energy.

IV.2.1 Capacidade diária de destilação

A Figura IV.10 apresenta a distribuição das refinarias pelas diferentes regiões de acordo com a capacidade de processamento das unidades de destilação. Na região Ásia-Pacífico concentram-se, além do maior número de refinarias, algumas das maiores unidades em capacidade de destilação. A capacidade instalada de destilação de petróleo na Ásia-Pacífico chega a quase 33 milhões de barris por dia. Do conjunto dos 10 maiores destiladores de petróleo do mundo, seis são refinarias desta região.

A América do Norte possui o segundo maior parque de refino em número de refinarias, porém, a região ocupa a quarta posição quando se avalia o tamanho médio das refinarias, atrás do Oriente Médio e da Europa. É interessante a percepção da diferença de estratégia de abastecimento dessa região, que mesmo com refinarias menores que o Oriente Médio ou a Europa ainda possui capacidade de destilação muito maior que essas duas regiões.

No geral, as refinarias da América Latina são pequenas, maiores apenas que as refinarias africanas. Na Figura IV.10 existem dois pontos notáveis, uma delas é a refinaria Paraguana da venezuelana PDVSA e a outra é a refinaria Ras Tanura, da saudita Saudi Aramco que processa 950 mil barris de óleo por dia e ainda encontra-se em expansão.

Embora grande parte do PIB dos países do Oriente Médio seja proveniente da exploração de petróleo (na Arábia Saudita e no Irã a atividade chega a representar quase 80 % do PIB), essa região não possui grande capacidade de destilação, confirmando a estratégia adotada pelos países do Oriente Médio de comercialização principalmente de óleo cru e não de produtos acabados. Tal estratégia é facilitada pelo fato de se tratar de um mercado eminentemente exportador, com a produção de petróleo sendo muito maior do que a demanda local por derivados.

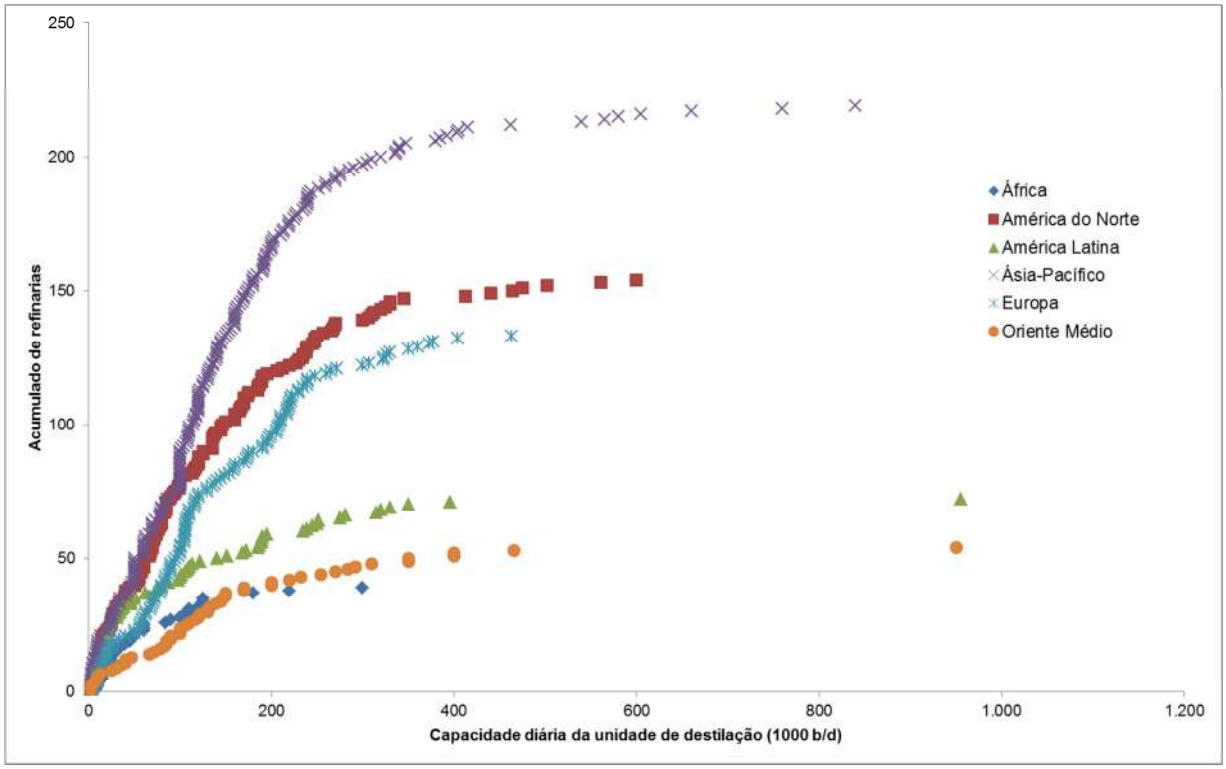


Figura IV.10 – Capacidade de processamento das unidades de destilação. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base Evaluate Energy.

IV.2.2 Capacidade diária de craqueamento térmico

O craqueamento térmico, originalmente usado na produção de gasolina, vem sendo substituído pelo craqueamento catalítico que, apesar de maior custo inicial de implantação, apresenta melhor controle dos processos e condições de temperaturas mais brandas, possibilitando assim melhor resultado operacional. A Figura IV.11 apresenta a distribuição das refinarias pelas diferentes regiões de acordo com a capacidade de processamento das unidades de craqueamento térmico da refinaria.

Alguns países europeus e asiáticos, particularmente países da antiga União Soviética e do antigo bloco comunista, ainda possuem refinarias com esse processo. São provavelmente refinarias antigas e que operaram durante anos num regime de limitadas trocas comerciais e tecnológicas.

A América do Norte possui apenas uma refinaria com o processo de craqueamento térmico. Trata-se da refinaria Corunna de propriedade da canadense Nova Chemicals Corporation, que utiliza o processo para produção de etileno e outros insumos petroquímicos, ou seja, com um fim bastante específico. No Brasil, apenas a refinaria de Manguinhos possui esse processo, a qual também é uma refinaria antiga e que esteve legalmente impedida de investir em novas unidades durantes os anos de vigência do monopólio estatal do petróleo.

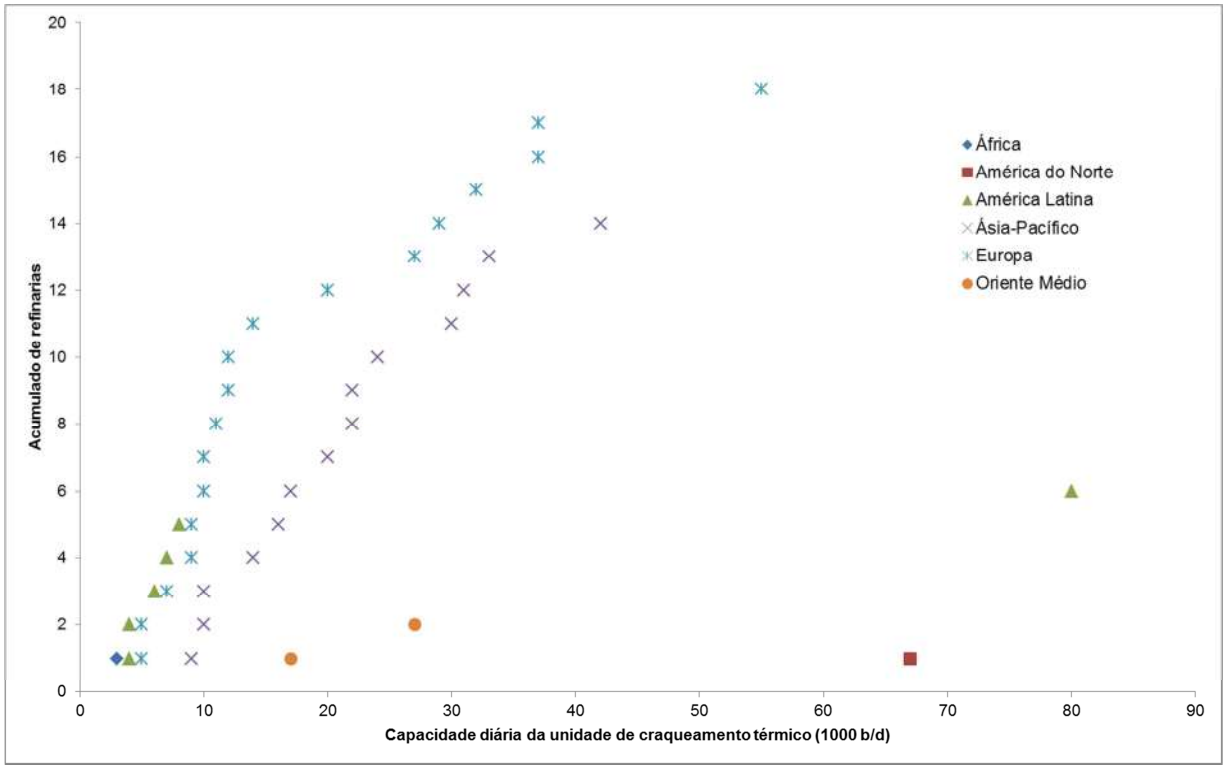


Figura IV.11 – Capacidade de processamento das unidades de craqueamento térmico. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base Evaluate Energy.

IV.2.3 Capacidade diária de processamento térmico

A Figura IV.12 apresenta a distribuição das refinarias pelas diferentes regiões de acordo com a capacidade de processamento das unidades de processamento térmico (viscorredução) da refinaria. O Oriente Médio possui as maiores refinarias consonante ao processo de viscorredução, embora em pequeno número.

Os países europeus possuem o maior número de refinarias que se utilizam desse processo para redução da viscosidade em óleos muito pesados. Esses países possuem mercados voltados principalmente ao diesel como combustível de transporte, que é favorecido por esse processo. Instalações que possuem unidades de processamento térmico não estão entre as de maior complexidade. Trata-se de um processo relativamente antigo de transformação de correntes pesadas em produtos mais leves e rentáveis, o qual é mais comum em países da antiga Cortina de Ferro e do leste europeu.

Uma refinaria que se destaca pelo tamanho é a Jurong em Singapura de propriedade da estadunidense ExxonMobil, além das Abadan e Isfahan no Iran, ambas de propriedade da NIORC (National Iranian Oil Products Refining & Distribution Company).

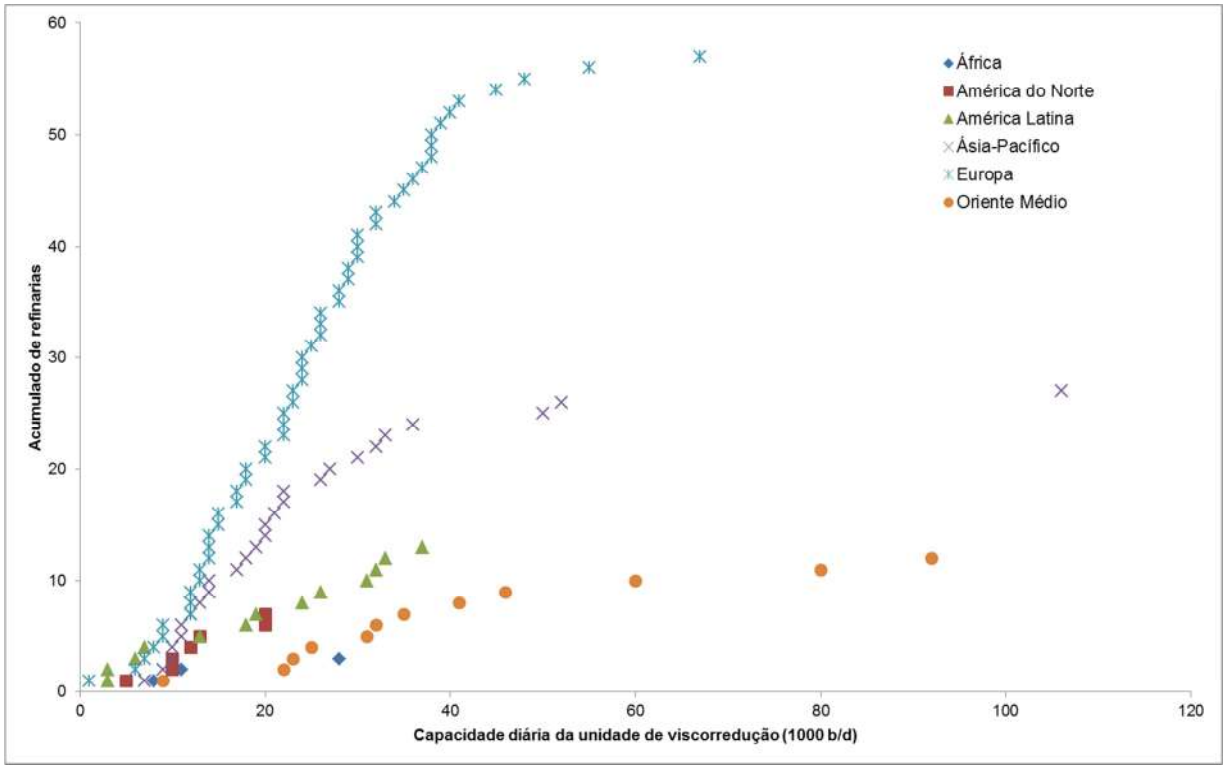


Figura IV.12 – Capacidade de processamento das unidades de viscorredução. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base Evaluate Energy.

IV.2.4 Capacidade diária de coqueamento

A Figura IV.13 apresenta a distribuição das refinarias pelas diferentes regiões de acordo com a capacidade de processamento das unidades de coqueamento da refinaria. Como já mencionado, o coqueamento é um processo voltado para a quebra de moléculas pesadas com geração de gasolina e outras frações leves. A América do Norte e a Ásia aparecem em destaque no gráfico quando observado o eixo de número de refinarias com o processo, porém ao analisar-se o tamanho das refinarias, a América Latina é a região com unidades de coqueamento com maiores capacidade de produção. Esta região, particularmente o Brasil, viu a implantação de uma série de unidades de coqueamento retardado na primeira década do século XXI como forma de adequar a produção do parque de refino à demanda por derivados leves. Ainda relativamente ao tamanho da unidade de coqueamento das refinarias, seguem as regiões América do Norte, Oriente Médio, Europa e Ásia-Pacífico. A África não possui nenhuma refinaria com o processo.

Os destaque da Figura IV.13 são: a refinaria Paraguana, na Venezuela, da empresa PDVSA, que processa diariamente 145 mil barris de óleo; na Índia, a refinaria Jamnagar, da empresa Reliance Petroleum, e a refinaria Vadinar, da empresa Essar Oil, processando respectivamente 125 mil e 120 mil barris de óleo por dia; e a refinaria Baton Rouge nos

Estados Unidos, da empresa ExxonMobil, com capacidade de coqueamento de 117 mil barris por dia.

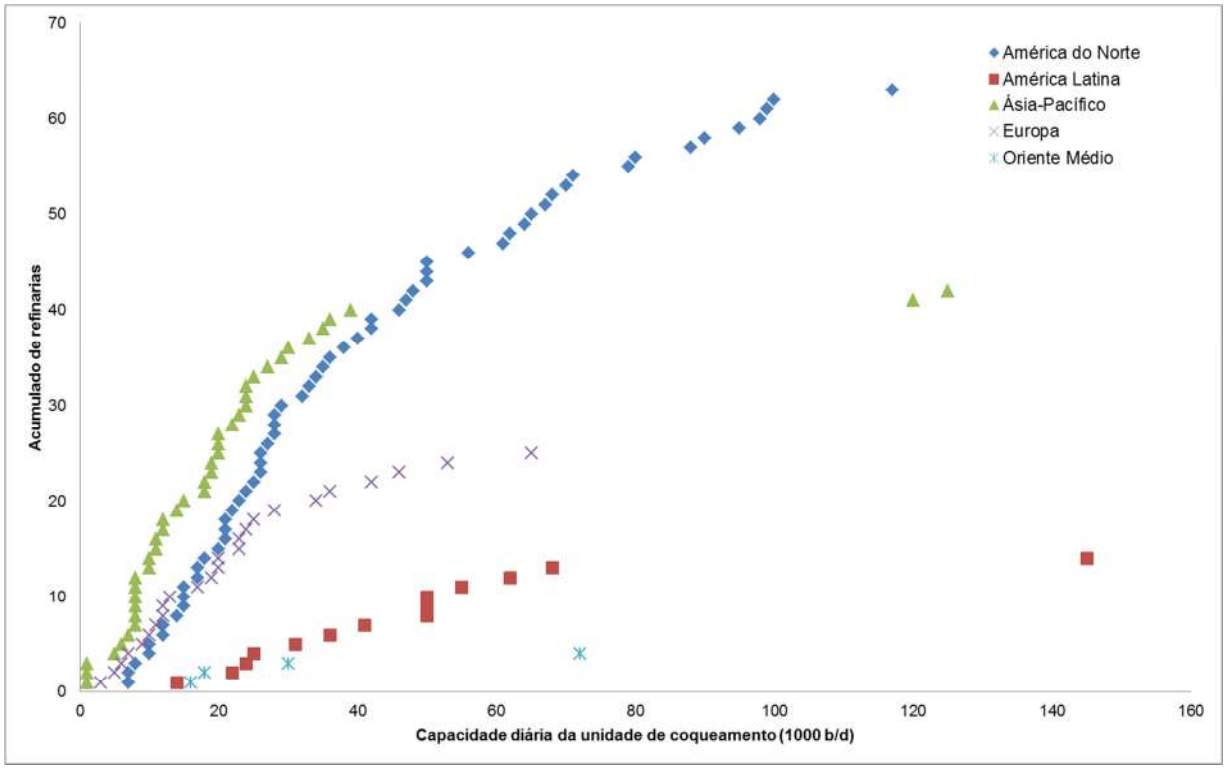


Figura IV.13 – Capacidade de processamento das unidades de coqueamento. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base Evaluate Energy.

IV.2.5 Capacidade diária de craqueamento catalítico

O craqueamento catalítico é um processo relativamente caro que objetiva principalmente a produção de gasolina de boa octanagem. A Figura IV.14 apresenta a distribuição das refinarias pelas diferentes regiões de acordo com a capacidade de processamento das unidades de craqueamento catalítico da refinaria.

A América do Norte, maior mercado consumidor de gasolina, é a região que tem o maior número de refinarias e também as refinarias com as maiores unidades de craqueamento catalítico, o que barateia o processo pelo ganho de escala. A região possui a maior capacidade diária de produção por craqueamento catalítico, como apresentado pela Figura IV.9.

A Ásia-Pacífico tem a maior concentração de refinarias com esse processo, mas, em tamanho médio das unidades, se iguala com a Europa. Ainda relativo ao tamanho das unidades de craqueamento catalítico, seguem a América Latina e o Oriente Médio. As unidades africanas, além de poucas, são as menores.

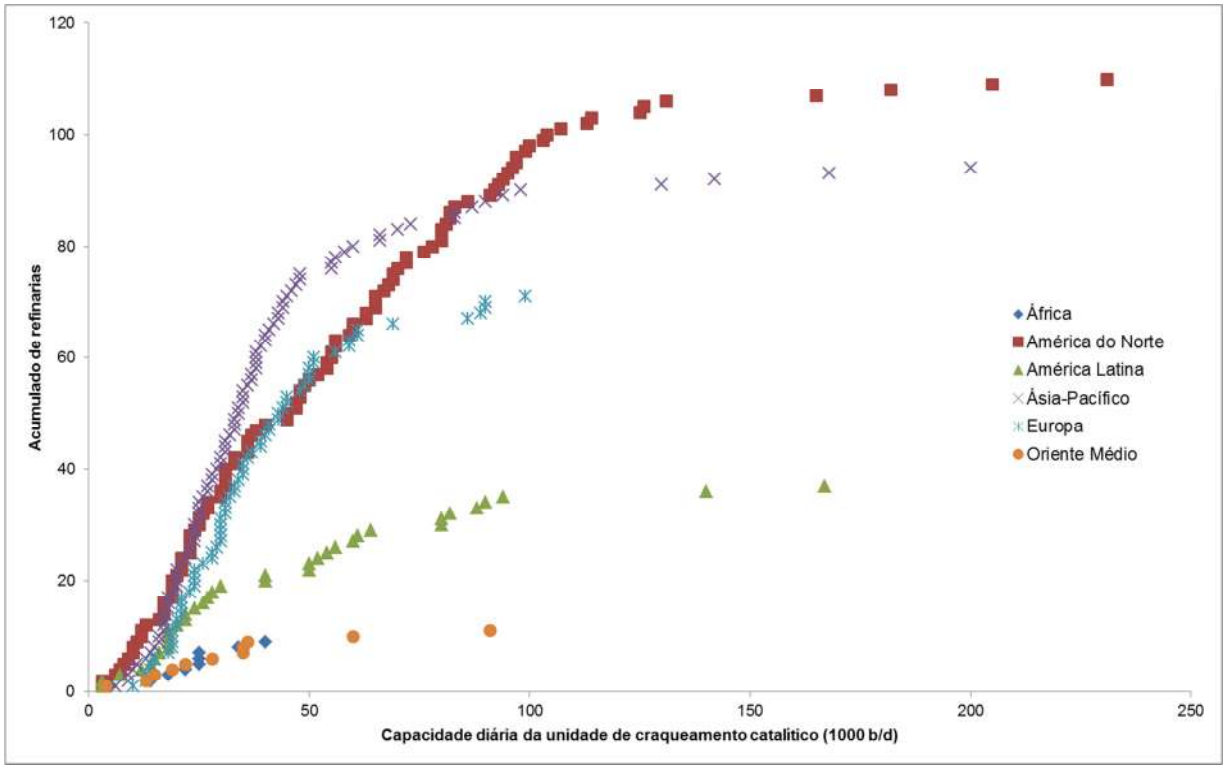


Figura IV.14 – Capacidade de processamento das unidades de craqueamento catalítico. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base Evaluate Energy.

IV.2.6 Capacidade diária de hidrocraqueamento

O hidrocraqueamento é um dos processos mais caros da refinaria em função da utilização de catalisadores e da necessidade de geração de hidrogênio. A Figura IV.15 apresenta a distribuição das refinarias pelas diferentes regiões de acordo com a capacidade de processamento das unidades de hidrocraqueamento da refinaria. Na referida figura, é possível se perceber que as refinarias têm um tamanho mínimo para serem atrativas, necessitando de ganho de escala para barateamento do processo.

A Europa possui as maiores unidades de hidrocraqueamento, o que está de acordo com o rigor dos requisitos de qualidade e das legislações ambientais da região. Sendo a Europa constituída fundamentalmente por países pequenos, essas unidades focam provavelmente o mercado de exportação (ao menos europeu, se não mundial). Tal tendência à globalização é mais perceptível na análise de um processo moderno como o HCC que na análise de processos mais antigos.

A América do Norte possui o maior número de refinarias com unidades de hidrocraqueamento, além de ser o primeiro também na capacidade de processamento utilizando-se dessa tecnologia. A região segue próxima à Europa em relação ao tamanho das unidades de hidrocraqueamento.

O Oriente Médio, embora tenha um número menor de unidades, possui unidades maiores do que as da Ásia-Pacífico. A América Latina e a África são as regiões com menor capacidade de hidrocraqueamento, além de possuírem menor número de refinarias com esse processo. O Brasil ainda não possui nenhuma unidade de hidrocraqueamento.

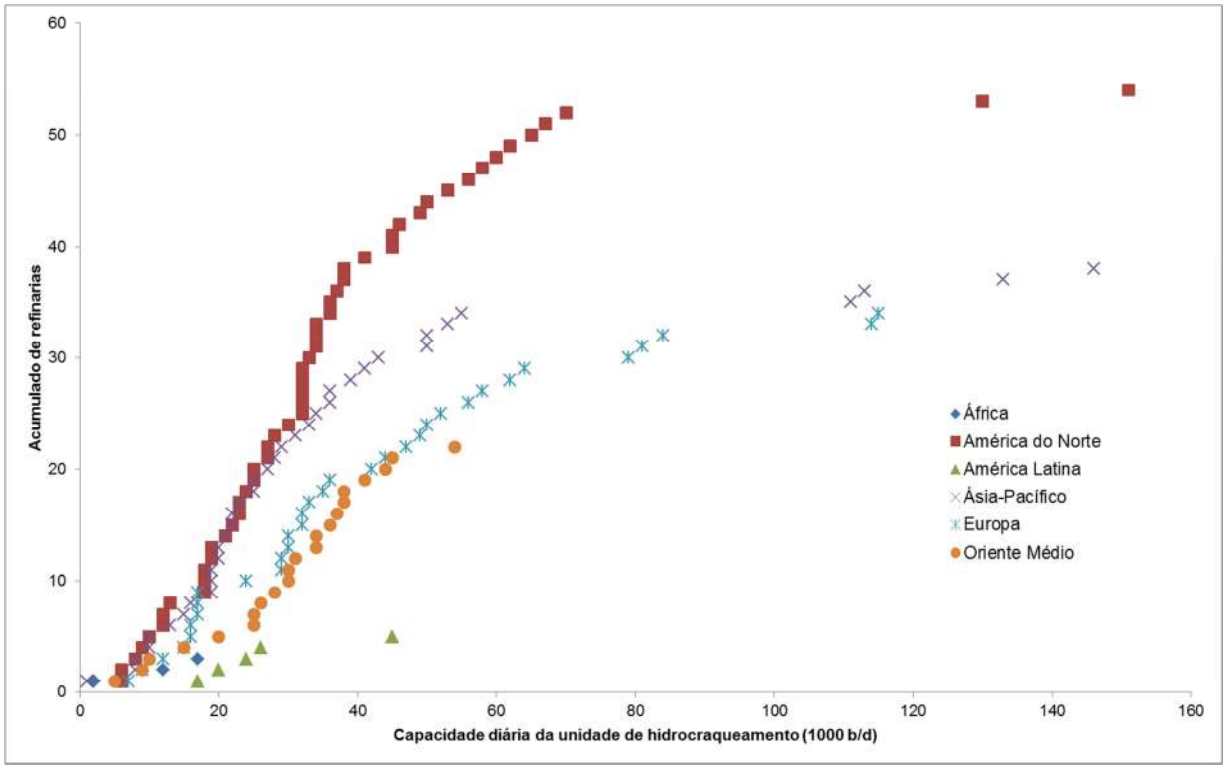


Figura IV.15 – Capacidade de processamento das unidades de hidrocraqueamento. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base Evaluate Energy.

IV.2.7 Capacidade diária de reforma

A unidade de reforma é uma das mais complexas da refinaria e objetiva a produção de gasolina de ótima octanagem (até 100). A Figura IV.16 apresenta a distribuição das refinarias pelas diferentes regiões de acordo com a capacidade de processamento das unidades de reforma catalítica da refinaria.

A América do Norte se destaca no processo de reforma catalítica pelo mesmo motivo que no processo de craqueamento catalítico – elevada demanda de produção de gasolina. A região possui as maiores unidades do processo, além do maior número de unidades e também da maior capacidade de processamento.

A Ásia-Pacífico possui mais unidades de reforma catalítica do que a Europa, porém divide com a região o segundo lugar em tamanho médio das unidades. A América Latina e a

África possuem as menores unidades do processo analisado. A refinaria mexicana de Tula, de propriedade da PEMEX, é destaque na figura citada.

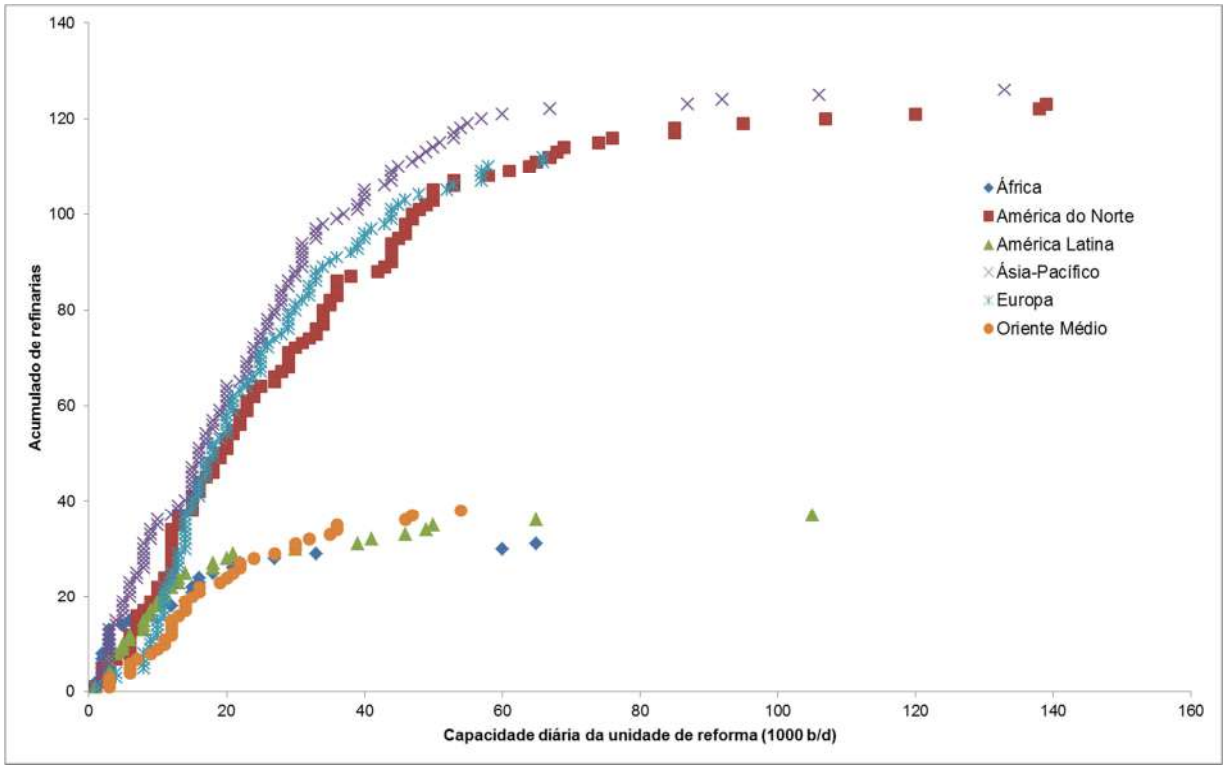


Figura IV.16 – Capacidade de processamento das unidades de reforma. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base Evaluate Energy.

IV.2.8 Complexidade das refinarias

A Figura IV.17 apresenta a distribuição da complexidade do parque de refino mundial. Dois grupos se destacam na figura citada: de um lado, as regiões da América do Norte, Ásia-Pacífico e Europa com grande número de refinarias e do outro lado as demais regiões com número bastante pequeno.

A América do Norte possui as refinarias mais complexas, seguida pela Europa. Ásia-Pacífico, América Latina e Oriente Médio possuem grau de desenvolvimento tecnológico relativamente próximos entre si. A África possui o parque de refino menos complexo entre os grupos analisados.

Um ponto de notável destaque na Figura IV.17 é a refinaria Mari El Refinery em operação na Rússia pela empresa Mariisky NPZ Ltd que possui grau de complexidade igual a 40. Trata-se de uma refinaria muito nova, com início de construção em 1998 e finalização em 2012. Atualmente a refinaria destila 2 mil barris de óleo por dia, mas tem capacidade de produção de 90 mil barris por dia.

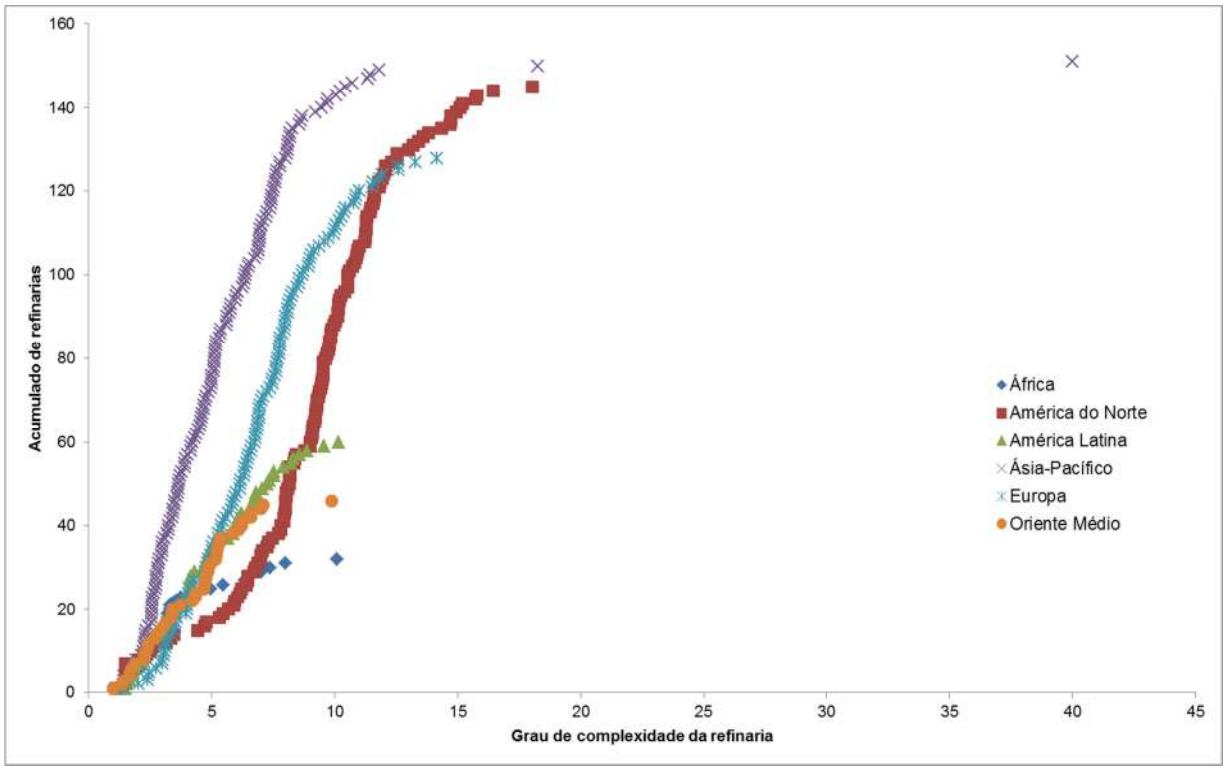


Figura IV.17 – Grau de complexidade das refinarias. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base Evaluate Energy.

Capítulo V - Estudo panorâmico a partir da literatura técnico-científica

Esta seção apresenta um panorama do estado da arte das tecnologias de hidrorrefino de petróleo através da exploração da literatura técnica publicada sobre o tema. Foram analisados 15.099 artigos publicados e indexados na base de dados EnCompassLIT.

V.1 Evolução temporal da publicação de artigos

A distribuição de artigos é apresentada na Figura V.1, onde se identifica que a primeira publicação no tema estudado data do ano de 1962, ano de início da indexação da base, com crescimento significativo das publicações na década seguinte. O primeiro artigo recuperado na base de dados, é de origem russa e trata de processo combinado de hidrocraqueamento de gasóleo de vácuo e hidrorrefino de gasolina a partir de craqueamento térmico. O documento não indica a instituição de afiliação dos seus autores.

Os anos das décadas de 1960 e 1970 detêm 3,6 % e 13,8 % respectivamente dos artigos publicados. Já a década de 1980 conta com 25,0 % dos artigos e essa porcentagem se mantém estável nas décadas seguintes com 24,5 % e 24,6 % respectivamente para as décadas de 1990 e de 2000. Os três primeiros anos do decênio de 2010 já somam 8,5 % das publicações, ressaltando-se que o ano de 2013 ainda deve sofrer alterações aumentando o número de artigos desse ano.

Considerando ainda a Figura V.1, percebe-se que a tecnologia de hidrorrefino de petróleo encontra-se em uma fase madura, o que pode ser percebido por sua estabilidade na média de publicações saindo de 69 artigos por ano na década de 1960, crescendo para 209 na década de 1970 e passando para 378, 368 e 372 nas décadas seguintes (1980, 1990 e 2000 respectivamente).

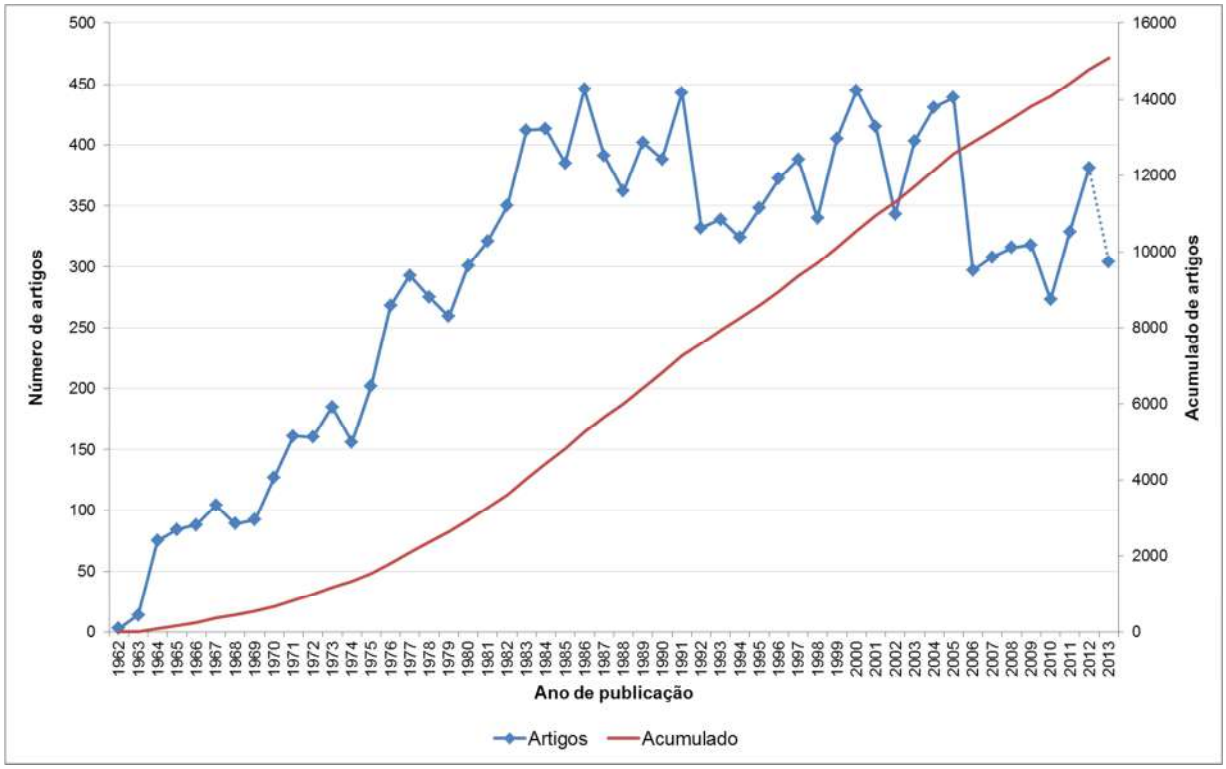


Figura V.1 – Evolução da publicação de artigos. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados recuperados na base EnCompassLIT.

V.2 Identificação dos principais atores na pesquisa e desenvolvimento da tecnologia

A Figura V.2 apresenta os países com número de publicações a partir de 20 documentos. Do total de 15.099 artigos recuperados na base de dados, 11.056 possuíam indicação da instituição de origem do primeiro autor, possibilitando a recuperação do país mesmo quando não indicado na indexação.

Os Estados Unidos são o país de origem de 19,8 % das instituições que publicaram resultado de pesquisa sobre o hidrorrefino de petróleo. A China, segundo país em número de artigos publicados, detém 15,1 %, seguida do Japão (8,6 %), Rússia (7,7 %), França (6,9 %), Canadá (5,5 %) e Alemanha (3,9 %). O Brasil é o 23º da lista, com 0,6 % dos artigos publicados no tema.

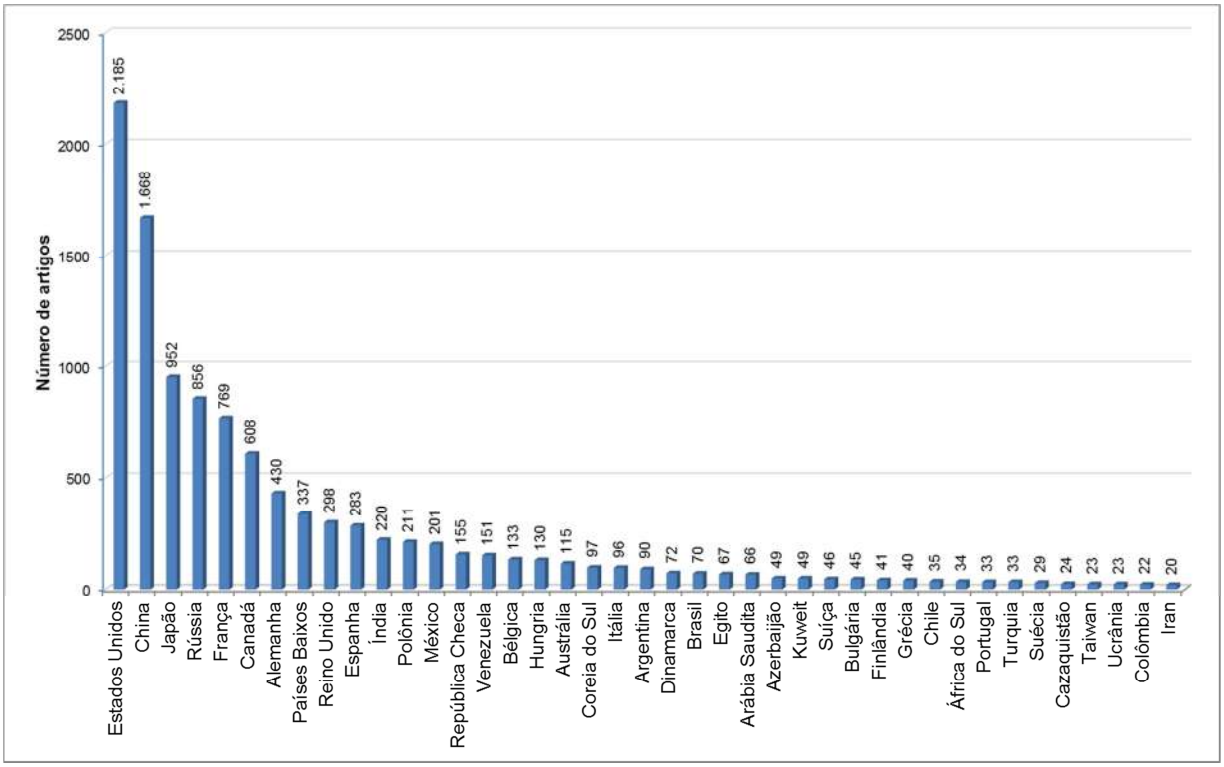


Figura V.2 – Países que mais publicaram artigos sobre o hidrorrefino de petróleo. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados recuperados na base EnCompassLIT.

Dentre as instituições que mais se destacaram na publicação de artigos sobre o tema hidrorrefino, a chinesa Sinopec lidera com 650 artigos. A Russian Academy of Sciences aparece em segundo lugar com 314 artigos, seguida pela China University of Petroleum (197 artigos), pelo Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) com 176 artigos e também pelo Institut Français du Petrole com 160 publicações. A Figura V.3 apresenta as instituições com mais de 50 artigos publicados sobre o hidrorrefino de petróleo.

As instituições estadunidenses com maior número de artigos publicados são as empresas ExxonMobil Oil Corporation (150 documentos) e Chevron Corporation (93 documentos), a University of California e a Utah University (75 documentos cada) indicando, com esse relativamente baixo número de publicações individual, que nos Estados Unidos a pesquisa sobre o hidrorrefino está mais pulverizada que no resto do mundo. Isso pode ser explicado por se tratar de um mercado tradicionalmente de livre concorrência, ao contrário, por exemplo, da China, que historicamente manteve uma cultura monopolista.

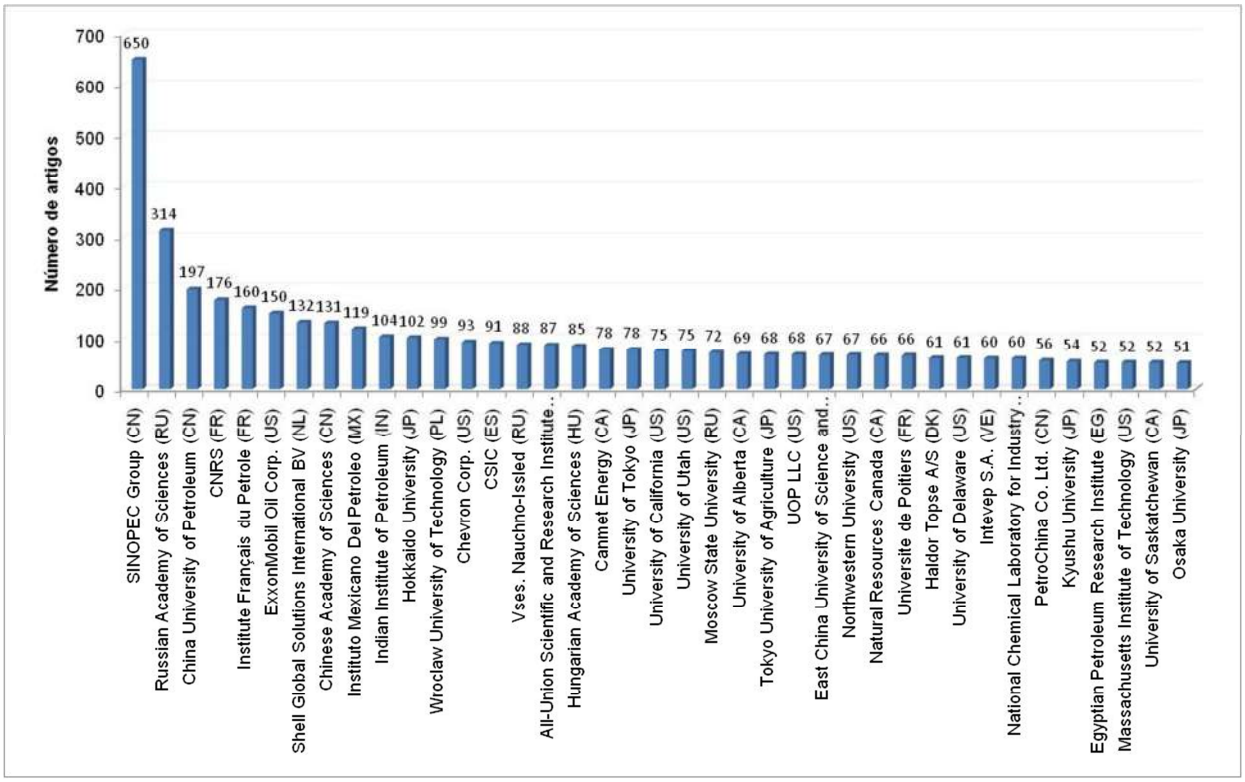


Figura V.3 – Instituições que mais publicaram artigos sobre o hidrorrefino de petróleo. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados recuperados na base EnCompassLIT.

A Figura V.4 apresenta algumas das principais instituições indicando o quantitativo de artigos de seu principal autor. O autor B. K. Nefedov, da instituição russa All-Union Scientific and Research Institute é responsável por 80 % dos trabalhos desse instituto no tema hidrorrefino. O autor é pesquisador da área de catalisadores de zeólita para hidrorrefino.

Outro pesquisador de destaque é Jorge Ancheyta Juárez, do Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), responsável por 70 % dos trabalhos do IMP recuperados nessa pesquisa. O pesquisador, que atua na área de processos de transformação do petróleo, recebeu o Prêmio SCOPUS 2013 por reconhecimento a seus numerosos trabalhos indexados na base SCOPUS e pelo alto número de citações recebidas por esses trabalhos.

Outros pesquisadores com elevado percentual de artigos recuperados na presente pesquisa em suas instituições de origem são K. Fujimoto, responsável por 67 % dos artigos da University of Tokyo, M. F. Abidova, com 34 % das publicações da Russian Academy of Scienes e J. L. G. Fierro, autor de 28 % dos artigos do Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) na Espanha.

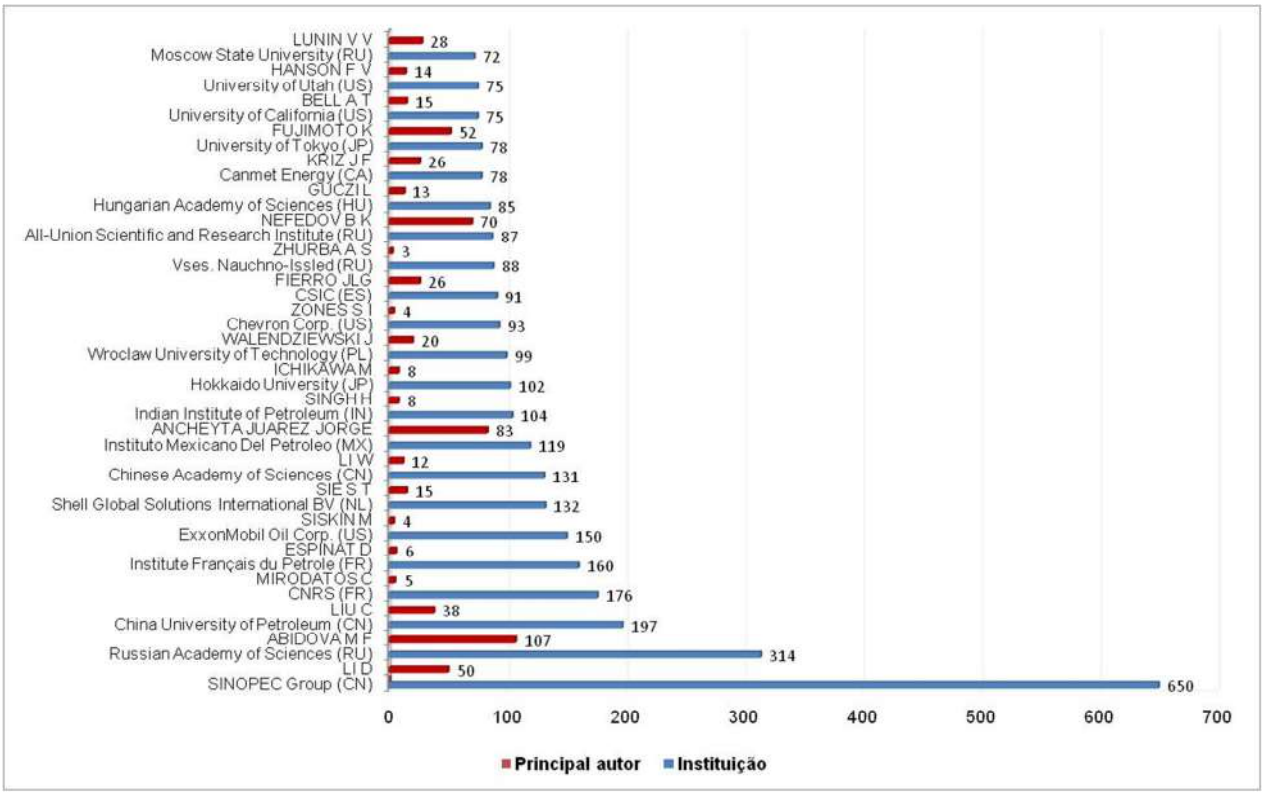


Figura V.4 – Principais atores no desenvolvimento da tecnologia. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados recuperados na base EnCompassLIT.

V.3 Caracterização da colaboração para pesquisa e desenvolvimento da tecnologia

Quase a totalidade dos 11.056 artigos que possuíam a indicação de afiliação do autor foi produzida sem a colaboração entre instituições, ou seja, 98,9 % dos artigos foram produzidos entre autores da mesma instituição. Em função da baixa colaboração entre as instituições para o desenvolvimento das pesquisas não foram calculadas medidas de centralidade de redes como, por exemplo, centralidade de grau, de intermediação ou de proximidade. A Figura V.5 apresenta a distribuição de instituições por artigo publicado.

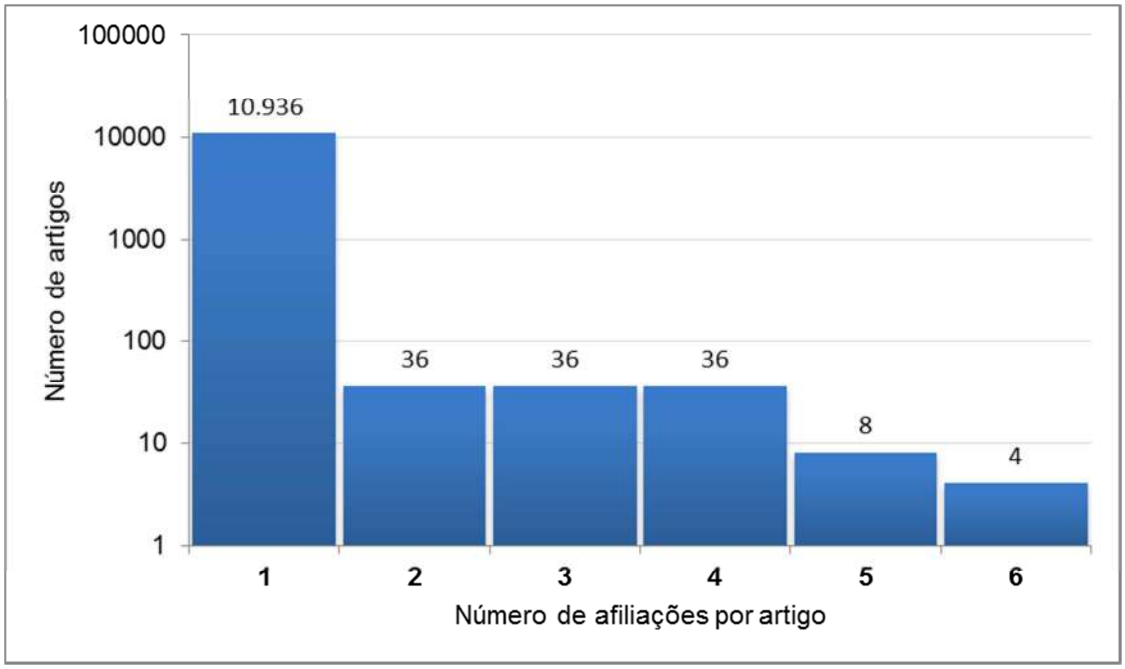


Figura V.5 – Distribuição de instituições por artigo publicado. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados recuperados na base EnCompassLIT.

A colaboração para pesquisa da tecnologia de hidrorrefino de petróleo apresenta uma componente gigante com 81,8 % das instituições que possuem parceria. Uma componente gigante, segundo SOUZA, BARBASTEFANO e LIMA (2012, p. 672), é o maior subconjunto concatenado de uma rede. A componente gigante indica que as instituições ali representadas possuem, direta ou indiretamente, ligações com as demais instituições que compõem o grupo de universidades e empresas recuperadas no presente estudo. A Figura V.6 representa essa componente gigante. Os nomes das instituições foram suprimidos em função da quantidade de vértices.

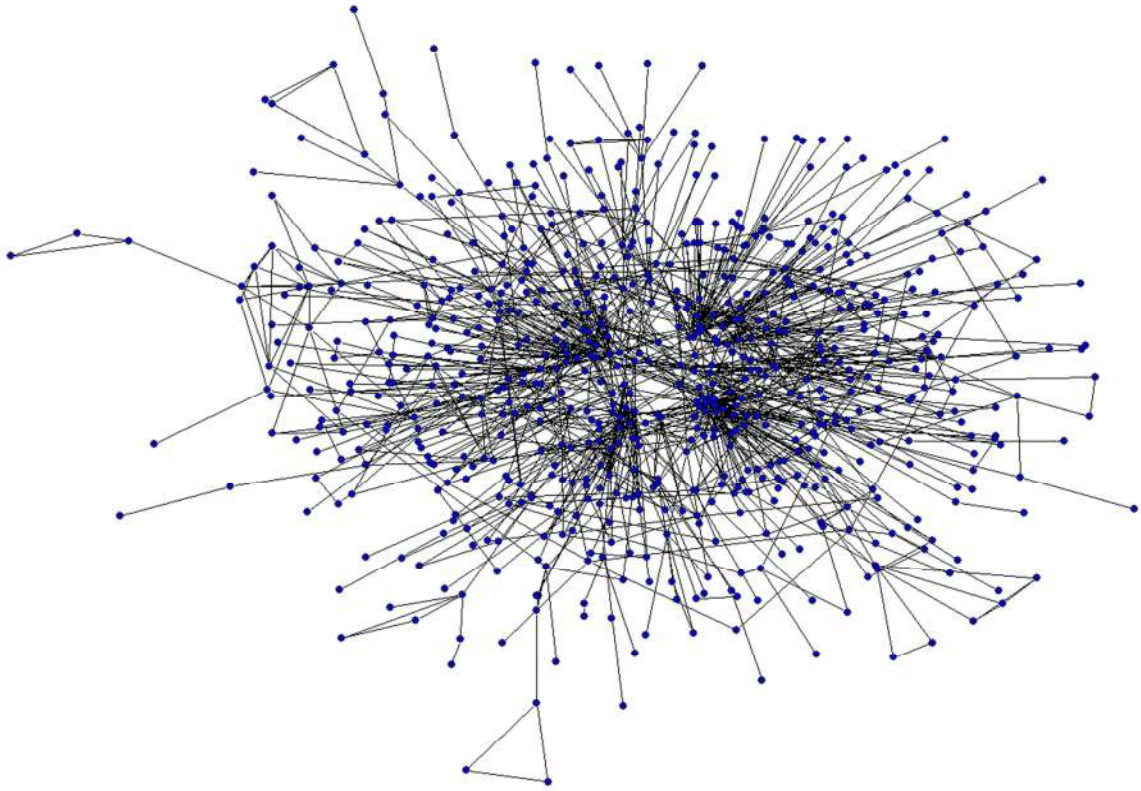


Figura V.6 – Principal conjunto de parceiros entre as instituições que publicaram artigos sobre o tema estudado. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados recuperados na base EnCompassLIT.

Ao se analisar o grupo dos autores, do total de 15.099 artigos selecionados para análise no presente trabalho, 10.287 foram desenvolvidos com alguma parceria entre autores e apenas 2.437 artigos têm apenas um autor como relator da pesquisa. Algumas publicações, 15,4 % do total, não trazem a indicação de autoria. A Figura V.7 apresenta a distribuição de parceria entre os autores dos artigos analisados.

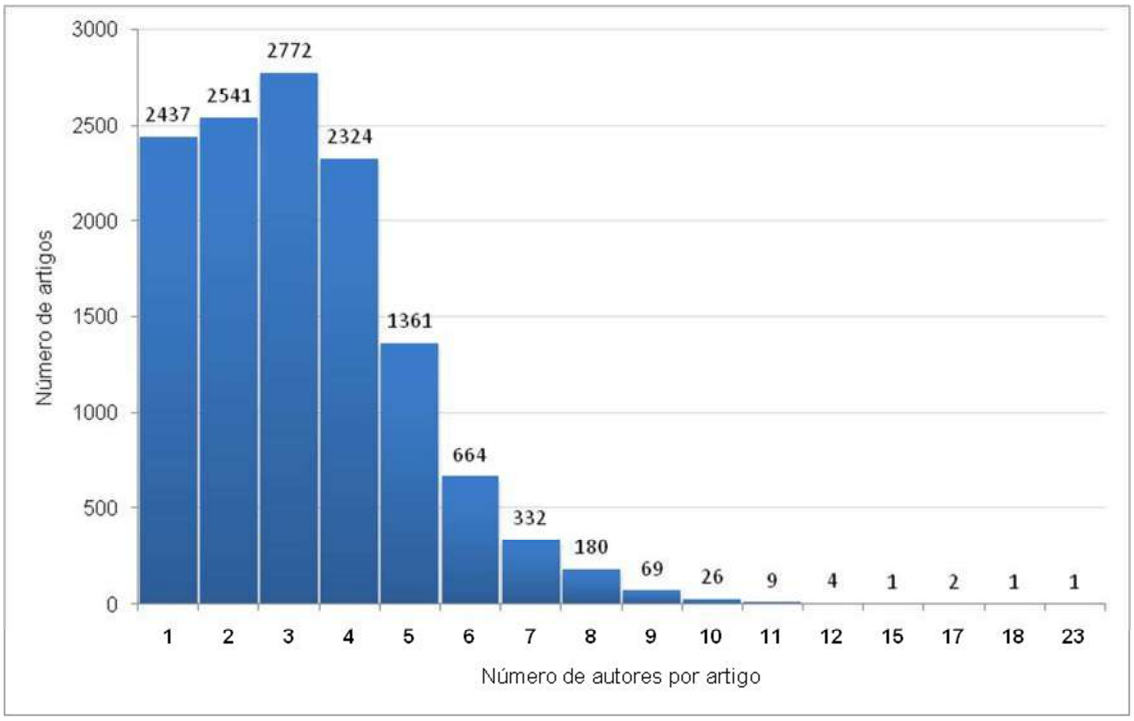


Figura V.7 – Distribuição de autores por artigo. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados recuperados na base EnCompassLIT.

A colaboração para pesquisa da tecnologia tem uma componente gigante com 73,1 % dos autores e é apresentada na Figura V.8.

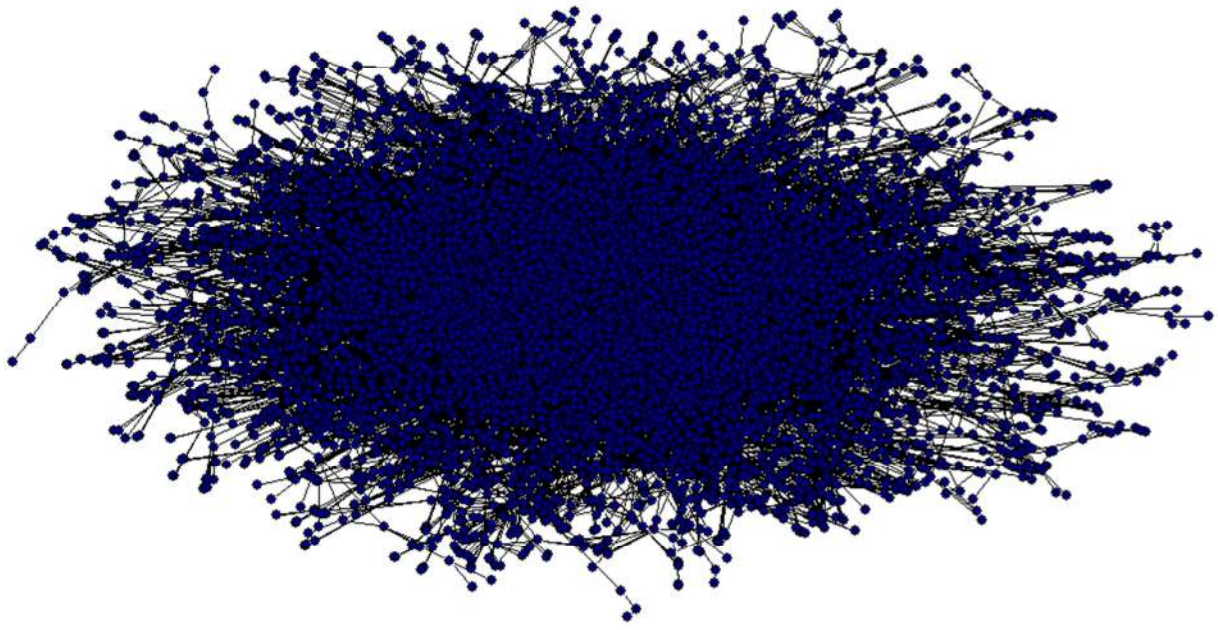


Figura V.8 – Principal conjunto de parceiros entre os autores. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados recuperados na base EnCompassLIT.

V.4 Detalhamento da tecnologia através da análise de assunto dos documentos

A Figura V.9 apresenta a nuvem de palavras produzida pelos termos utilizados com mais frequência para descrição do conteúdo dos artigos no campo Resumo. Do conjunto total de documentos, apenas 74,1 % trazia esse campo preenchido.

Como pode ser visto, o termo catalisador é predominante nas pesquisas sobre o hidrorrefino de petróleo. Os catalisadores de hidrorrefino são um dos responsáveis pelo encarecimento desse processo, justificando-se a intensidade de pesquisa nessa área para economia e viabilização do hidrorrefino.

Pela visualização dos demais termos-chave destacados na nuvem percebe-se que existem mais termos relacionados ao processo do que termos relacionados aos produtos finais.

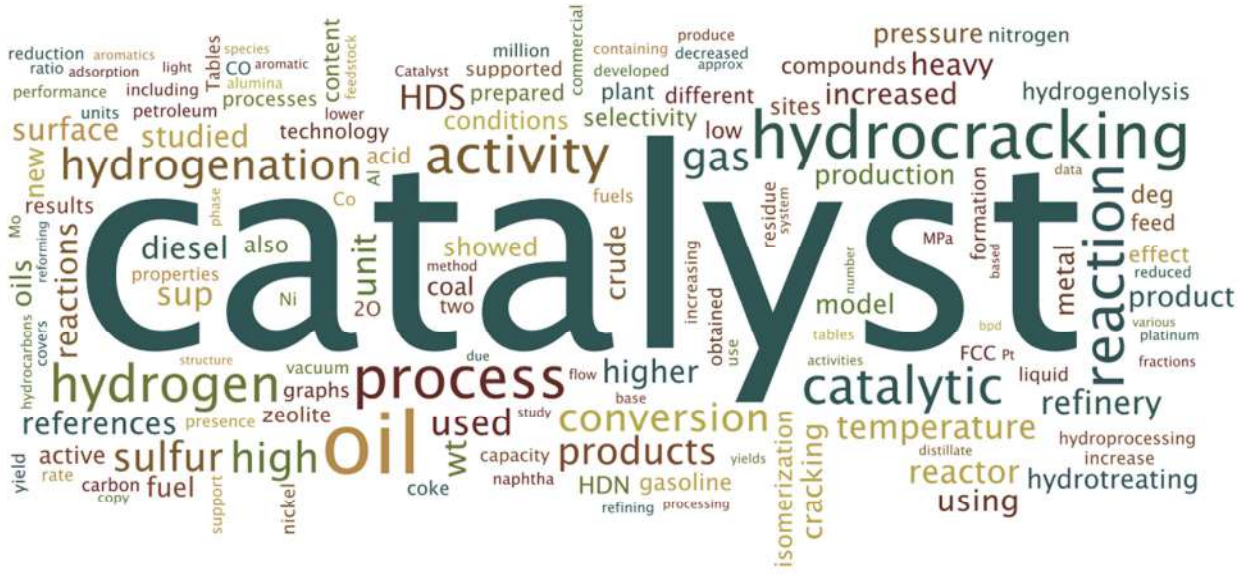


Figura V.9 – Agrupamento de termos-chave recuperados no campo Resumo. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados recuperados na base EnCompassLIT.

Capítulo VI - Estudo panorâmico a partir dos documentos de patentes

A presente seção apresenta um panorama do estado da técnica do hidrorrefino de petróleo através da exploração de seus documentos de patentes que, como mencionado no Capítulo III, são considerados a principal fonte de informação para a avaliação de tecnologias.

Foram recuperados 3.607 documentos de patentes e, como pode ser visto na Figura VI.1, 56 % desses documentos são patentes efetivamente concedidas e 44 % ainda aguardam análise dos escritórios responsáveis.



Figura VI.1 – Distribuição dos documentos de patentes. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base FamPat.

VI.1 Distribuição temporal dos documentos de patentes a partir de sua data de prioridade

A data do primeiro depósito de uma tecnologia é nomeada data de prioridade e foi utilizada na presente dissertação para apresentação da evolução das tecnologias de hidrorrefino de petróleo. A distribuição temporal da tecnologia a partir do seu patenteamento é apresentada na Figura VI.2, onde se identifica o primeiro documento recuperado na década de 1950, uma patente sobre melhoramento da conversão catalítica de hidrocarbonetos com regeneração do catalisador utilizado no processo, depositada no Escritório Americano de Patentes (USPTO) em 30 de novembro de 1950 pela Kellogg Company. Essa empresa, fundada em 1901, é tradicionalmente voltada ao setor de engenharia para processos petrolíferos e também é uma das fundadoras da tecnologia de craqueamento fluido catalítico (FCC) – tecnologia voltada à produção de gasolina de alta octanagem – tornando-se a

proprietária da primeira unidade de FCC em 1942. Sua atuação no hidrorrefino de petróleo, embora pioneira, é modesta, resumindo-se a cinco patentes na década de 1950 e seis outros documentos já no final da década de 1990, quando passou por processos de fusão com empresas como a Dresser Industries e a Halliburton, formando a Kellogg, Brown & Root.

Os anos da década de 1950 concentram 2,4 % dos documentos sobre o hidrorrefino de petróleo, com salto para 10,9 % no decênio seguinte. O interesse pela tecnologia foi se intensificando ano após ano chegando a uma concentração de 25,5 % na primeira década de 2000.

Os anos de 2012 e 2013 ainda não têm a quantificação exata do número de documentos de patentes, uma vez que cada depósito cumpre período de sigilo de pelo menos 18 meses antes de ser publicado, mas não há qualquer sinal de arrefecimento no estudo da tecnologia de hidrorrefino de petróleo.

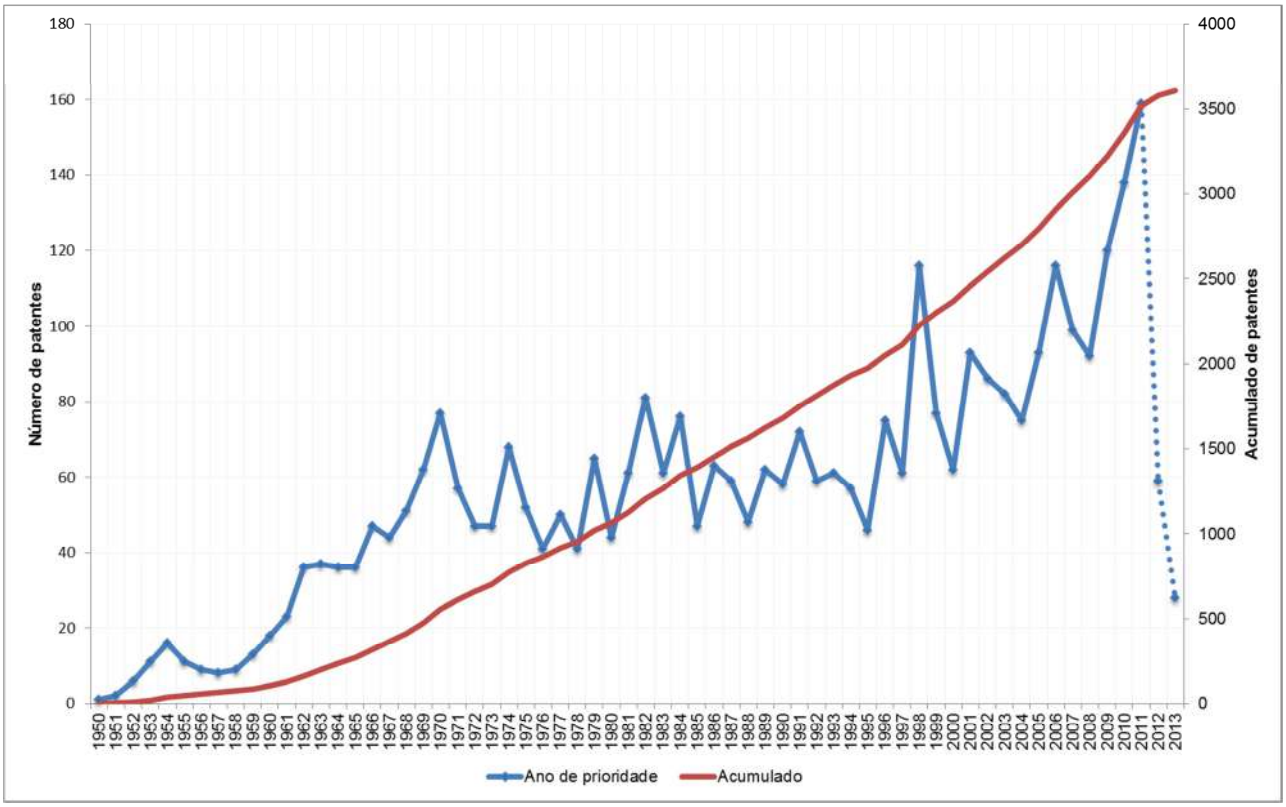


Figura VI.2 – Evolução dos pedidos de patentes a partir da data de prioridade dos documentos.
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base FamPat.

VI.2 Origem e difusão da tecnologia

O país de primeiro depósito é considerado pelo depositante da patente como um dos mercados mais importantes para a sua atuação em relação à tecnologia pleiteada. A Figura VI.3 lista esses países para o conjunto de documentos analisados, mostrando que os Estados Unidos foram escolhidos como país de prioridade de 43,4 % das patentes, o que se explica facilmente uma que vez que os Estados Unidos são o maior mercado consumidor de combustível para transporte de todo o mundo.

A França é o segundo país em prioridade dos documentos, embora uma instituição francesa seja detentora do maior número de patentes por depositante, o Institut Français du Petrole com 660 documentos. O Japão é terceiro país em depósitos prioritários, seguido da China. Um fato interessante sobre a estratégia mercadológica chinesa diz respeito à sua atuação internacional no hidrorrefino de petróleo, o que pode ser observado pelo número de patentes com prioridade chinesa, 363, e o número de patentes com prioridade chinesa da Sinopec Group (281), empresa chinesa com o maior número de patentes sobre a tecnologia estudada, 437, indicando que 35,7 % dos seus documentos têm foco internacional.

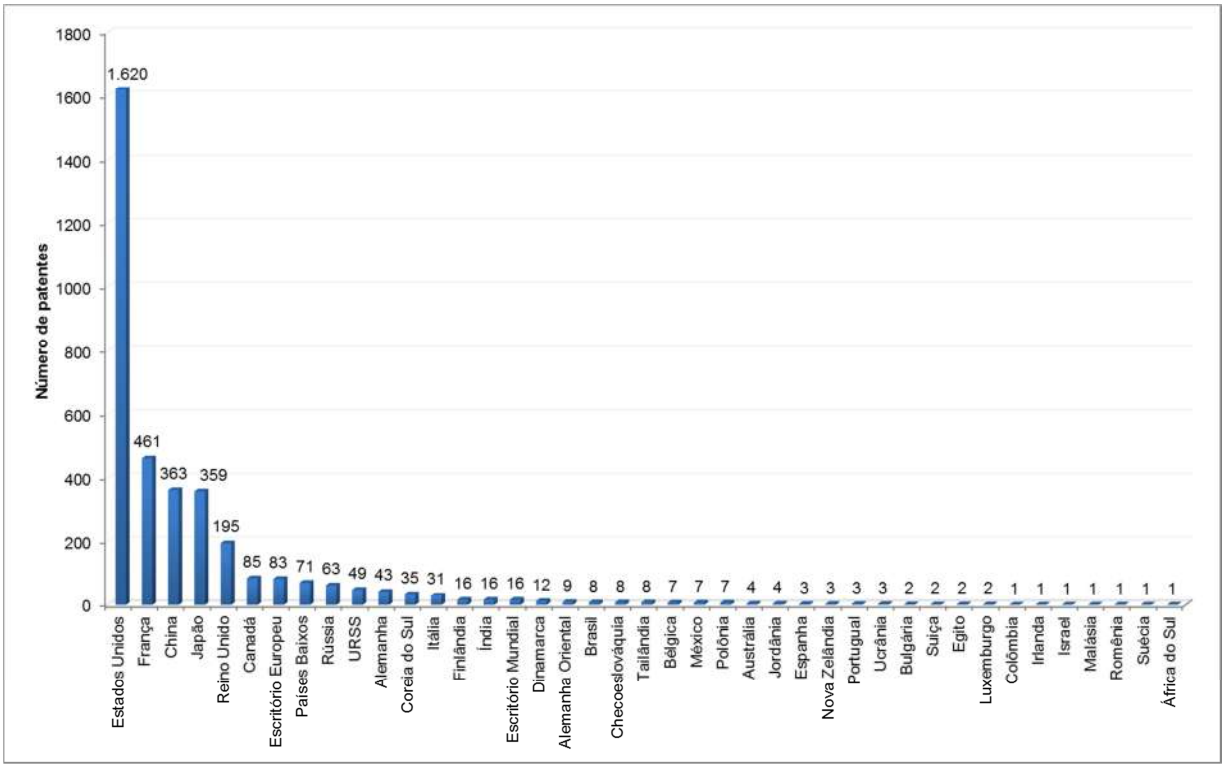


Figura VI.3 – Países de nascimento das tecnologias. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base FamPat.

A Figura VI.4 apresenta a entrada das nações no desenvolvimento do hidrorrefino de petróleo. Os Estados Unidos são pioneiros no estudo do hidrorrefino, seguido de Países Baixos, Reino Unido, Alemanha, França e Canadá ainda na década de 1950, porém apenas os Estados Unidos e a França ainda mantêm destaque no estudo da tecnologia. A China ingressou nesse campo do conhecimento em meados da década de 1980, intensificando sua atuação na década de 2000 e se destacando no ano de 2011 como a maior depositante de patentes sobre o tema.

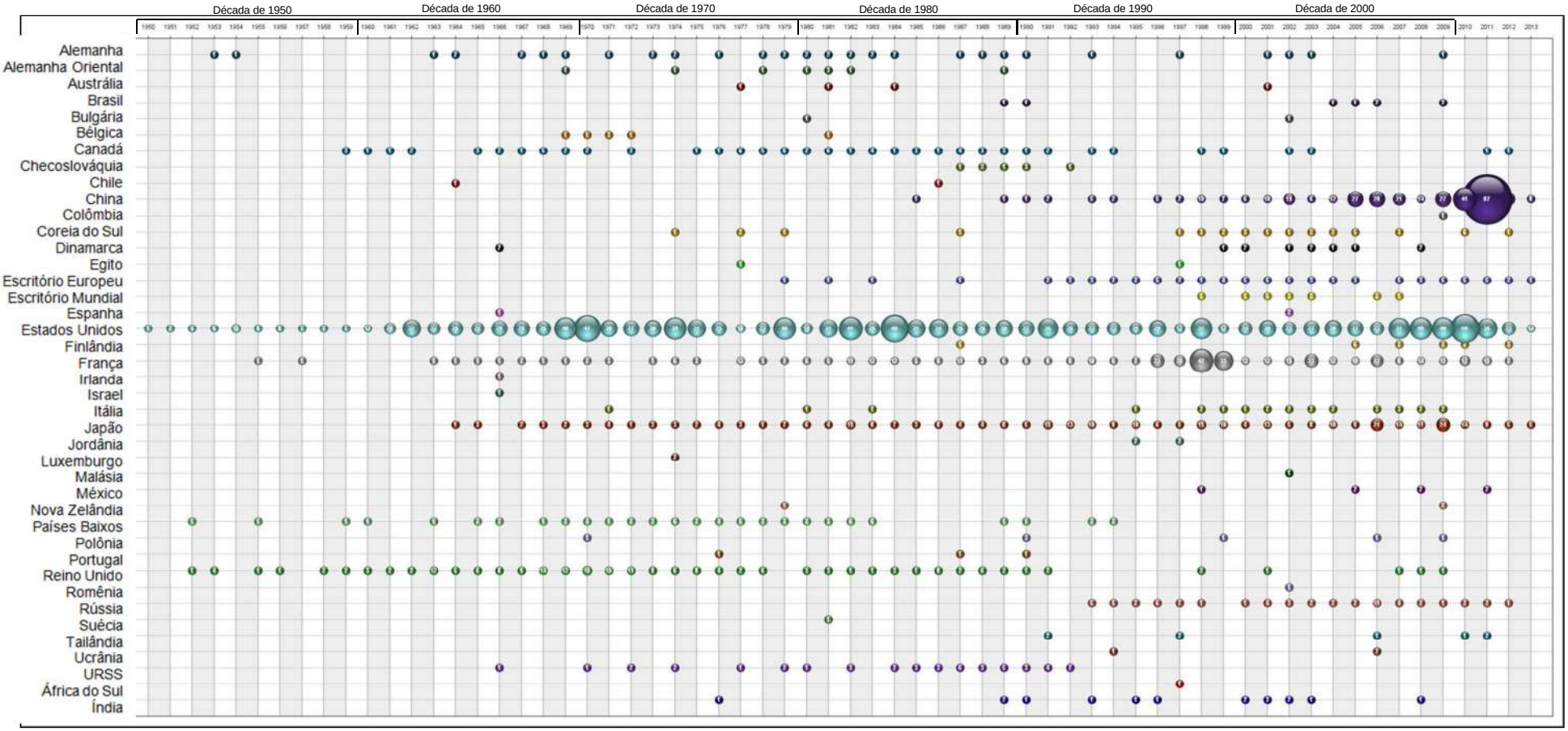


Figura VI.4 – Entrada dos países no desenvolvimento da tecnologia. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base FamPat.

VI.3 Apresentação dos principais mercados de interesse segundo os desenvolvedores da tecnologia

As patentes geram custo; portanto, são geralmente depositadas apenas nos mercados onde seus desenvolvedores pretendem utilizar a tecnologia com expectativa de lucros. A Figura VI.5 apresenta os diferentes mercados onde as 3.607 tecnologias recuperadas no presente estudo foram depositadas. Uma mesma tecnologia pode ser depositada em países diferentes. O conjunto de patentes de mesma tecnologia em documentos ou escritórios distintos denomina-se família de patentes. O somatório das patentes na figura referida é muito superior aos 3.607 documentos analisados, uma vez que nesse momento se analisa todos os documentos que compõe as famílias das patentes. Dada essa quantidade, 20.769 documentos distribuídos em mais de 60 mercados distintos, é notável que as estratégias de negócio das empresas estão bastante globalizadas.

A presença de destaque é mais uma vez os Estados Unidos (2.946 documentos). Completam a lista dos 10 principais mercados o Japão (2.181 documentos), o Escritório Europeu (1.755 documentos), a Alemanha (1.549 documentos), a França (1.351 documentos), o Canadá (1.250 documentos), a China (1.220 documentos), a Austrália (1.009 documentos) e o Reino Unido (901 documentos). O Escritório Mundial aparece com 991 depósitos, mas como esse escritório não concede patente, apenas barateia os custos de tramitação e garante data de prioridade, esses documentos ainda darão continuidade à fase nacional do depósito.

O Brasil, como visto na subseção anterior, possui apenas 8 documentos com prioridade nacional, porém o país é alvo de 296 depósitos.

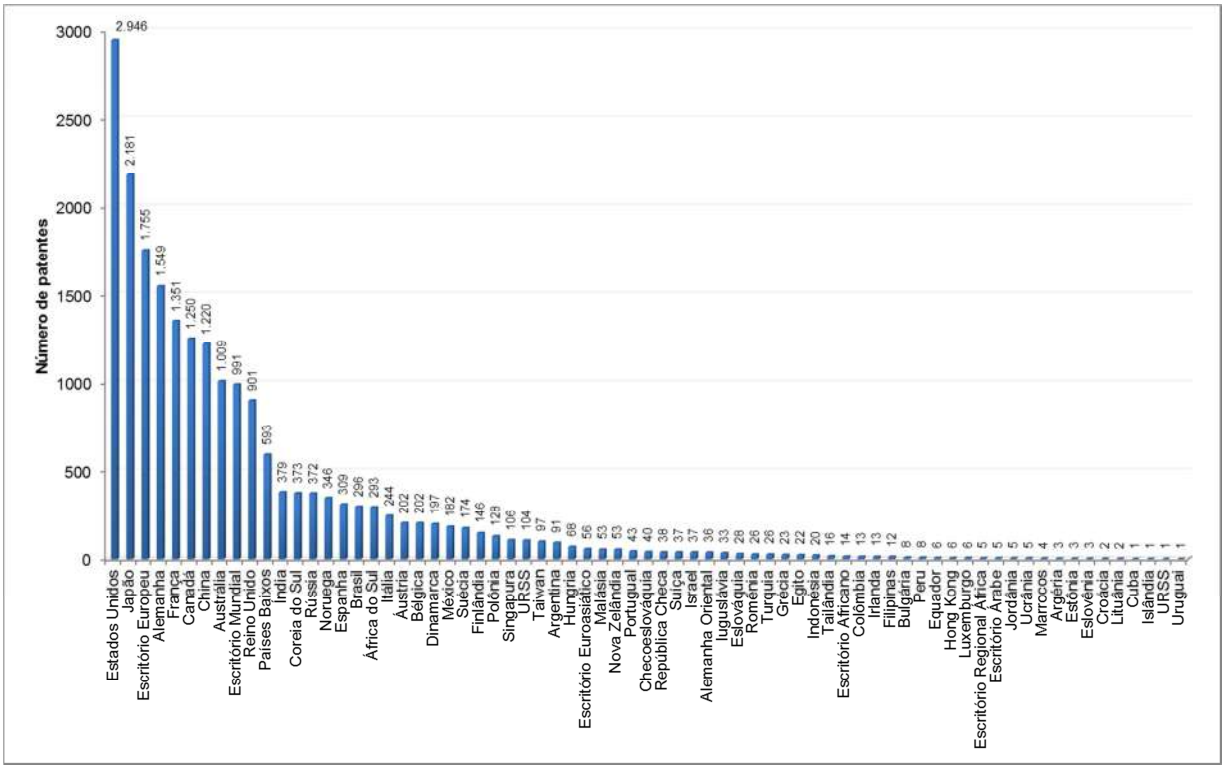


Figura VI.5 – Mercados de uso e comercialização das tecnologias. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base FamPat.

VI.4 Identificação dos principais atores na pesquisa e desenvolvimento da tecnologia

A Figura VI.6 apresenta as empresas com mais de 50 patentes depositadas sobre o hidrorrefino de petróleo. O Institut Français du Petrole é a instituição que se destaca, sendo proprietária de 18,3 % dos documentos sobre o tema.

A empresa estadunidense UOP LLC, detentora de 14,7 % das patentes recuperadas nesse estudo, é especializada no desenvolvimento de tecnologias para o refino de petróleo, o processamento de gás e a produção petroquímica, atuando desde 1914 com foco no licenciamento de suas tecnologias para as principais empresas mundiais da indústria de energia.

Ainda na Figura VI.6 encontram-se várias das principais empresas petrolíferas atuais, conhecidas no setor como *majors*, tais como Royal Dutch Shell (448 patentes), Sinopec (437 patentes), ExxonMobil (425 patentes), Chevron (383 patentes), BP (74 patentes), Total (62 patentes) e ENI (51 patentes).

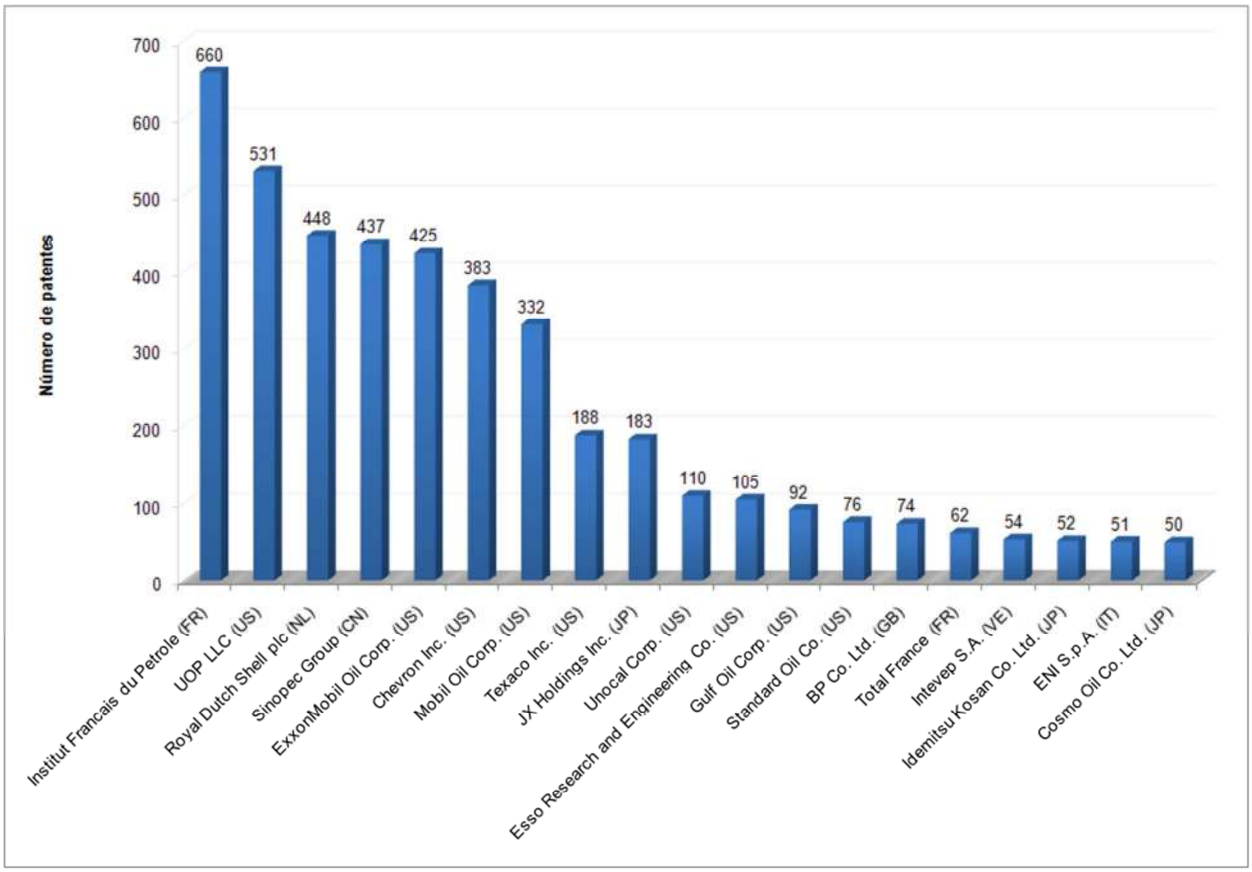


Figura VI.6 – Empresas depositantes com 50 ou mais patentes no tema estudado. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base FamPat.

A Figura VI.7 apresenta os principais depositantes, com destaque para seu principal inventor. Como pode ser observado, o principal inventor do Institut Français du Petrole é responsável por 10,8 % dos documentos da instituição no tema estudado. O principal inventor da empresa Standard Oil é responsável por 38,1 % da pesquisa e desenvolvimento sobre o hidrorrefino. Conhecer os talentos em cada área de atuação da empresa é de fundamental importância para que as instituições possam valorar seu principal ativo intangível e preparar ações de retenção desses talentos e gestão do conhecimento sensível ao negócio das organizações.

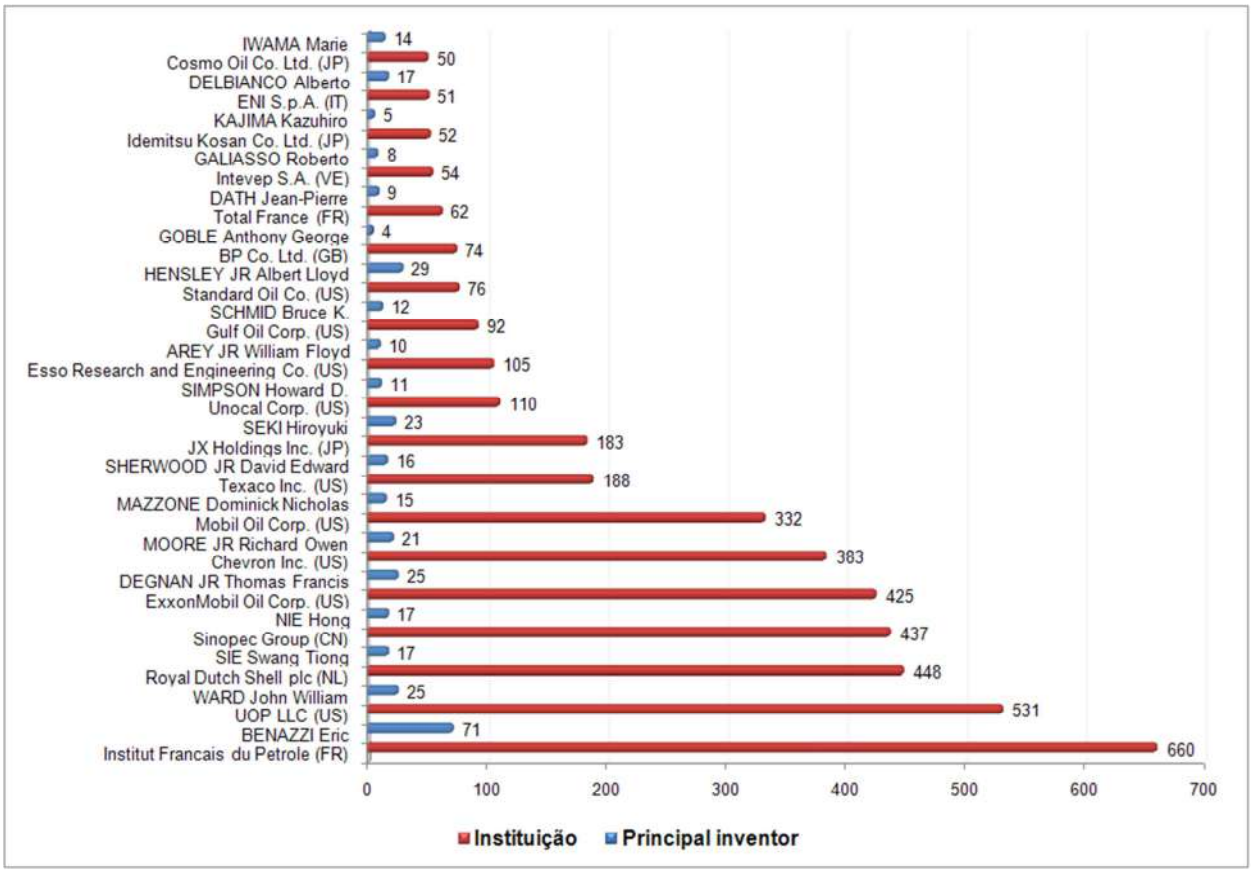


Figura VI.7 – Principais atores no desenvolvimento da tecnologia. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base FamPat.

VI.5 Caracterização da colaboração para pesquisa e desenvolvimento da tecnologia

Do total de 3.607 documentos de patentes selecionados para análise no presente trabalho, apenas 177 documentos foram produzidos com alguma parceria. A grande maioria, 87,4 %, não contou com colaboração alguma. Ainda, 276 documentos não apresentavam indicação de depositante ou indicavam apenas o autor como depositante. Mais uma vez, em função da baixa colaboração entre as instituições para o desenvolvimento das pesquisas não foram calculadas medidas de centralidade de redes como, por exemplo, centralidade de grau, de intermediação ou de proximidade. A Figura VI.8 apresenta a distribuição de parceria dos documentos analisados.

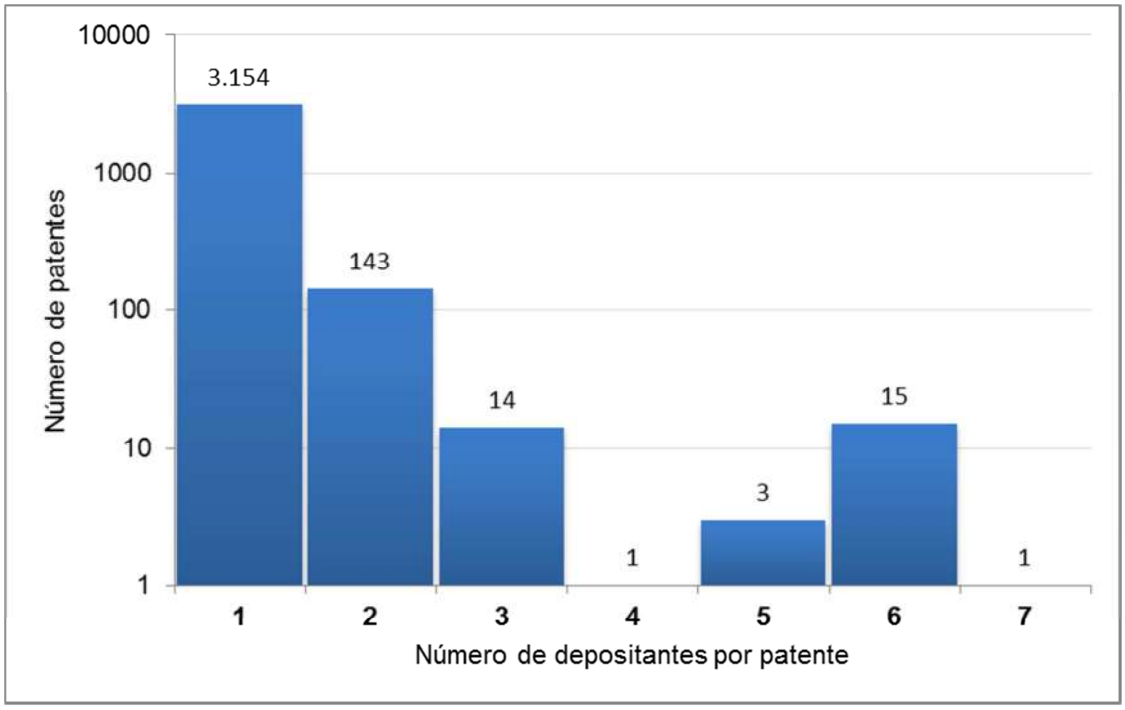


Figura VI.8 – Distribuição de instituições por patente. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base FamPat.

A colaboração para pesquisa e desenvolvimento da tecnologia apresenta uma componente gigante com 25,8 % das instituições que possuem parceria. A Figura VI.9 representa essa componente gigante, onde se percebe a presença quase absoluta de instituições japonesas, indicando que fatores como a proximidade geográfica e a falta de barreiras linguísticas e culturais podem ser impulsionadores para a colaboração.

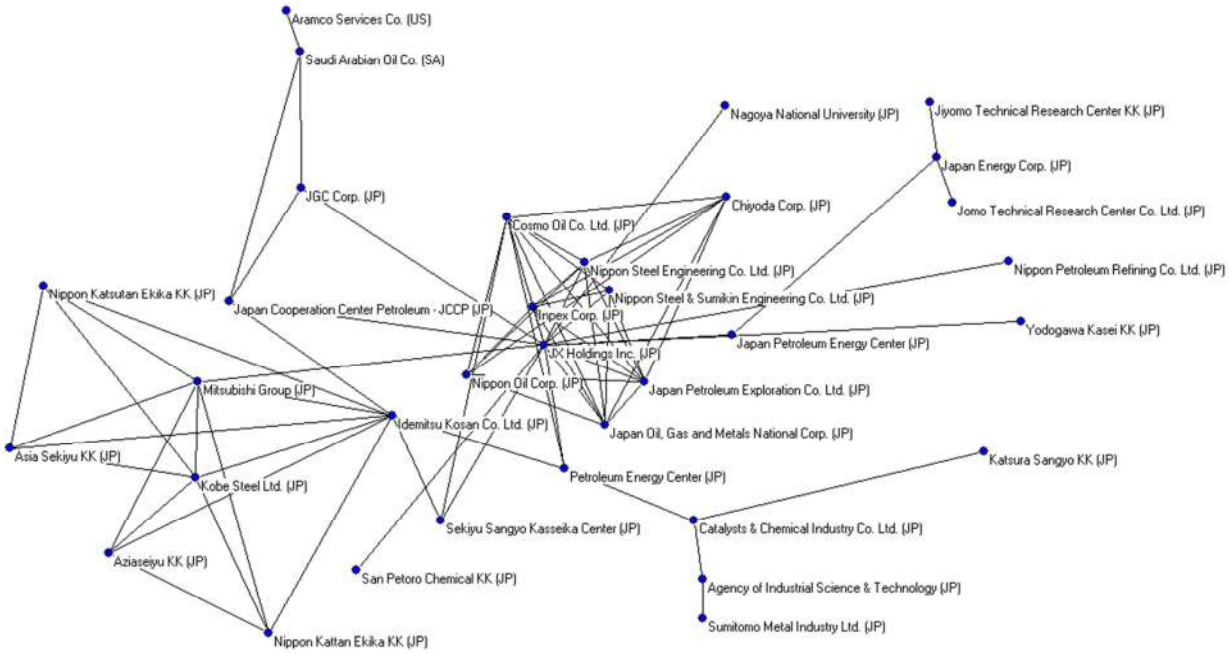


Figura VI.9 – Principal conjunto de parceiros entre as instituições depositantes. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base FamPat.

Ao se analisar o grupo dos inventores, do total de 3.607 documentos de patentes selecionados para análise no presente trabalho, 2.739 foram desenvolvidos com alguma parceria entre inventores e apenas 20,4 % são de apenas um inventor. Alguns documentos, precisamente 136 deles, não trazem a indicação do nome do inventor. A Figura VI.10 apresenta a distribuição de parceria entre os pesquisadores inventores dos documentos analisados.

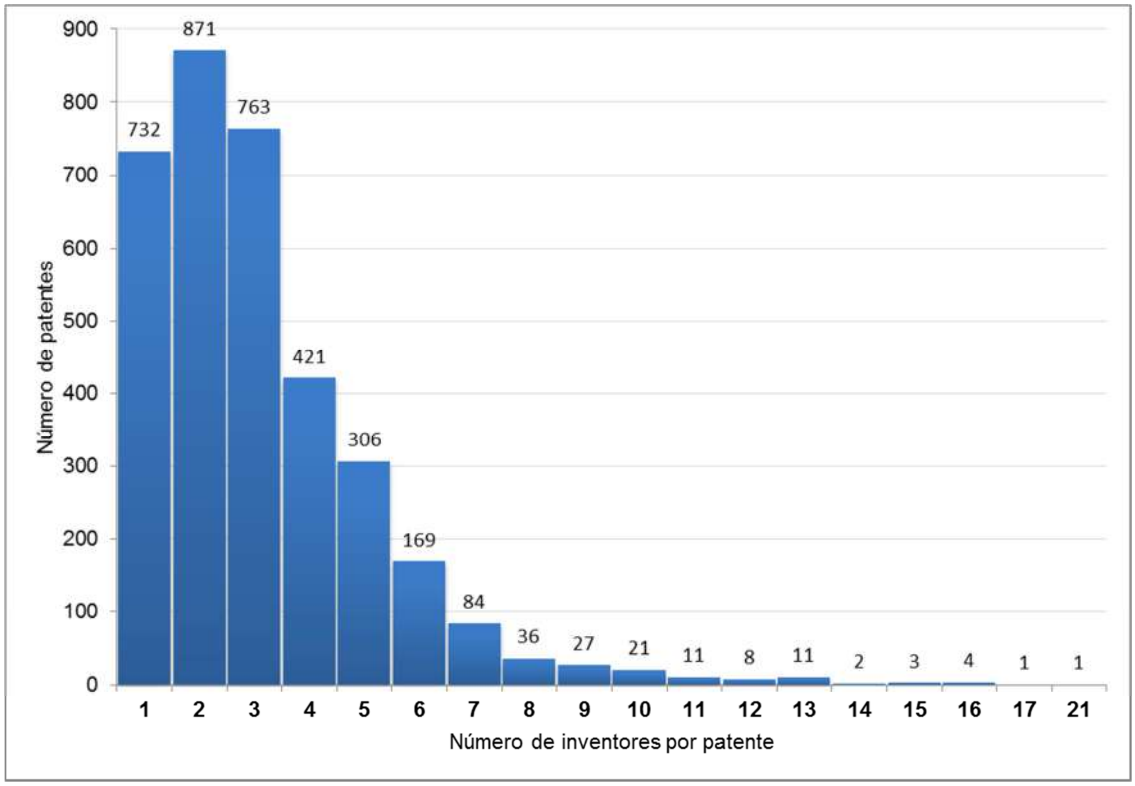


Figura VI.10 – Distribuição de inventores por patente. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base FamPat.

A colaboração para pesquisa e desenvolvimento da tecnologia tem uma componente gigante com 55,8 % dos inventores e é apresentada na Figura VI.11.

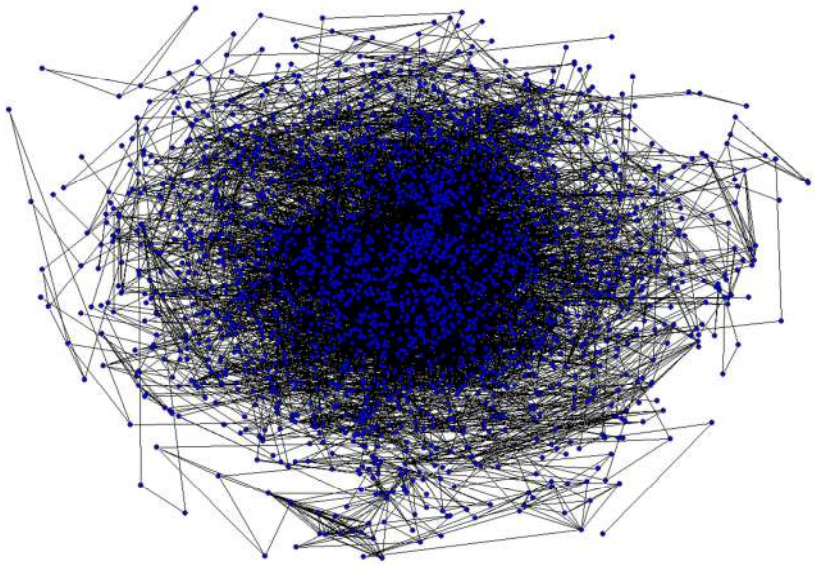


Figura VI.11 – Principal conjunto de parceiros entre os inventores. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base FamPat.

VI.6 Detalhamento da tecnologia através da análise de assunto dos documentos

A Figura VI.12 apresenta o diagrama de assuntos que representa a totalidade dos documentos de patentes recuperados nesse estudo. No diagrama estão representados os 35 assuntos mais frequentes em dois níveis de profundidade.



Figura VI.12 – Diagrama de assuntos. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da base FamPat.

O lado inferior do diagrama, parte marrom, começa apresentando termos relacionados aos catalisadores e ao tratamento de catalisadores.

Seguindo para os agrupamentos na cor verde tem-se uma visão mais processual, com o grupo mais a esquerda tratando de HCC e o grupo mais a direita com foco em HDT. No grupo mais central são tratados temas operacionais do hidrorrefino, incluindo a velocidade espacial

do reator, ou seja, o inverso do tempo que a molécula da carga leva para passar pelo vaso do reator, relacionado ao tempo de residência da carga. Quanto menor a velocidade espacial, maior a conversão da carga. Esse tempo é controlado de acordo com o produto que se deseja da reação, sendo afetado pela vazão de carga e pelo projeto do reator.

No agrupamento destacado em vermelho, são apresentados os termos relacionados ao tratamento de produtos, uma vez que o HDR vai além do reator de hidrorrefino e a carga ao sair deste reator ainda pode percorrer outros reatores para estabilização, podendo mesmo ir para outro processo dependendo do produto desejado. Tal é particularmente válido no caso do HCC. Nesse agrupamento também entra parte do processo de hidrorrefino como a reposição de hidrogênio (“*make up*”).

Capítulo VII - Discussões

Este capítulo discute alguns dos resultados apresentados nos estudos panorâmicos dos capítulos anteriores e apresenta um modelo para a estimativa da capacidade de HCC em função da intensidade da pesquisa e desenvolvimento sobre o tema.

VII.1 Perfil geográfico e tecnológico

A Ásia-Pacífico é, atualmente, a região que mais investe no abastecimento. Além do maior número de refinarias operando, a região possui ainda o maior número de refinarias em planejamento. Não se pode deixar de mencionar que a segunda região de destaque em número de refinarias e em capacidade de destilação, a América do Norte, conta apenas com dois países ao invés dos 26 países contabilizados na Ásia-Pacífico. Os Estados Unidos são responsáveis por 90,6 % da capacidade de destilação da América do Norte e de 20,4 % da capacidade mundial, já a China é responsável por 23,8 % do total destilado na Ásia-Pacífico e 8,5 % do total mundial. O Brasil é o décimo país em capacidade de destilação e responde por 2,2 % desse processo no mundo.

A Figura VII.1 compara os depósitos de patentes e a publicação de artigos sobre o tema, onde percebe-se que os depósitos de patentes apresentam um crescimento recente mais acentuado que a publicação de artigos, que apresenta um crescimento mais acentuado na década de 1970. Em função das fontes utilizadas identificou-se depósito de patentes desde o início da década de 1950 e publicação de artigos desde o início da década de 1960.

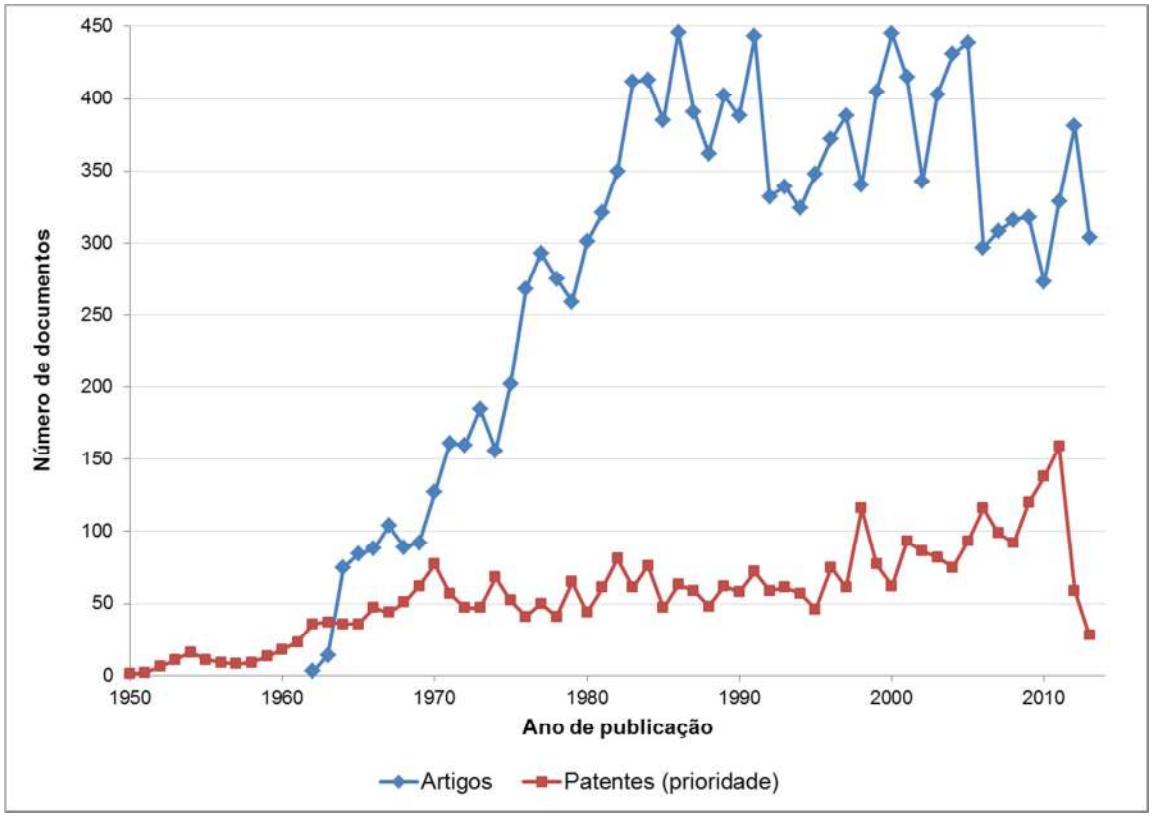


Figura VII.1 – Comparação entre os anos de depósitos de patentes e os anos de publicação de artigos. Fonte: Elaboração própria a partir dos dados das bases FamPat e EnCompassLIT.

É interessante comparar a evolução dos pedidos de patentes e da publicação de artigos para investigação do foco de interesse de pesquisadores, uma vez que as patentes caracterizam o interesse de aplicação da tecnologia e seu uso comercial e o mesmo não necessariamente acontece com a publicação de artigos. Hipoteticamente, a publicação de artigos apareceria antes dos pedidos de patentes indicando que a tecnologia é estudada primeiro no nível acadêmico e depois passa a ter interesse mais comercial. Dessa forma, a defasagem entre o crescimento do número de artigos e do número de patentes indica o quanto essa hipótese é verdadeira. Se a publicação da tecnologia surge primeiro em artigos da literatura e só depois aparecem patentes isso seria um indicativo de que a tecnologia demorou a atingir um estágio em que é considerada economicamente viável. Por outro lado, se patentes são publicadas antes ou ao mesmo tempo em que os artigos isso é um indicativo de que desde o início de seu desenvolvimento já se vislumbravam aplicações práticas.

Uma análise quantitativa dessas hipóteses pode ser feita correlacionando-se os números de patentes e de artigos publicados em cada ano, considerando-se diferentes defasagens entre eles. Por exemplo, uma correlação elevada entre o número de artigos em cada ano e o número de patentes no ano seguinte, ou seja, considerando-se uma defasagem de um ano, indicaria que este é o tempo médio aproximado para que a tecnologia evolua do

interesse puramente acadêmico ao interesse comercial. Esta análise é feita na Figura VII.2 testando-se diferentes períodos de defasagem.

Observa-se que a correlação para a defasagem negativa (patentes surgindo antes de artigos) ou próxima de zero é muito baixa. Por outro lado, ela cresce nos maiores de intervalos de tempo considerados, sendo maior para intervalos de 10 a 20 anos, aproximadamente. Isso significa que houve um intervalo de tempo razoável para que houvesse o interesse comercial pela tecnologia de hidrorrefino crescesse de forma comparável ao interesse acadêmico.

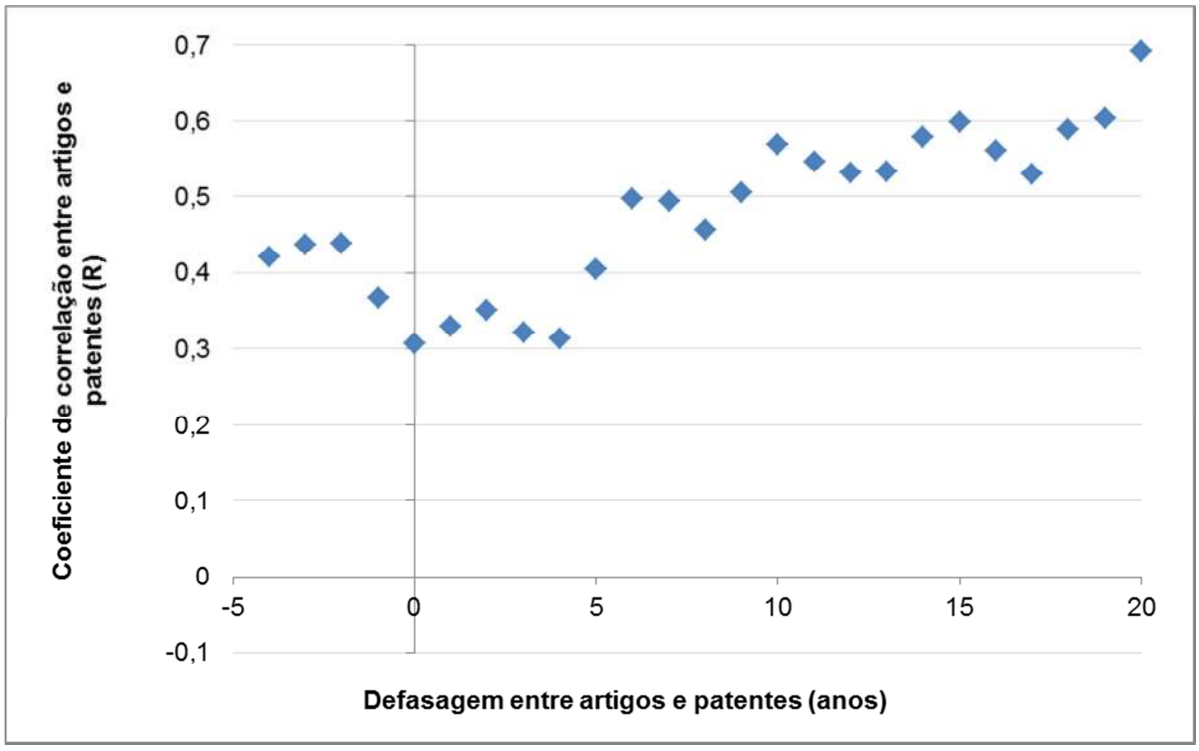


Figura VII.2 – Coeficiente de correlação entre os depósitos de patentes e as publicações de artigos. Fonte: Elaboração própria.

Na comparação entre as nuvens de palavras criadas a partir dos resumos dos artigos Figura VII.3 (a) e das patentes Figura VII.3 (b) percebe-se a maior parte dos termos é comum a ambos os grupos, com ênfase maior na tecnologia de catalisadores.

Tanto em artigos quanto em patentes o foco no processo (identificado através de termos como *hydrocracking, activity, process, catalytic, reaction* etc.) merece destaque, seja pelo lado de estudo do catalisador ou da otimização das reações. No grupo de patentes ganham um pouco mais de destaque termos relacionados aos produtos do hidrorrefino (*oil, liquid, gas fraction, group, hydrocarbon, product* etc.).



(a) (b)

Figura VII.3 – Nuvens de palavras dos resumos dos artigos (a) e das patentes (b). Fonte: Elaboração própria.

VII.2 Modelo de regressão múltipla

Foi realizada uma análise com proposição de um modelo simples para a capacidade de processamento por hidrocraqueamento através de regressão múltipla. O principal objetivo da análise é o entendimento de fatores que influenciam a instalação da capacidade de processamento por HCC.

Partiu-se dos dados consolidados por país de número de artigos publicados, número de patentes publicadas, capacidade de destilação e capacidade de processamento por HCC, como mostrados no Apêndice I.

Inicialmente, calculou-se a matriz de correlação de Pearson entre esses dados, a qual é mostrada na Tabela VII.1. Não surpreende o fato de que a maior correlação seja entre as capacidades de processamento na destilação e no HCC, afinal é natural que as refinarias com maior carga processada (na destilação) tenham também as maiores cargas processadas nas unidades a jusante. Indo além, a correlação entre a quantidade de documentos publicados sobre o tema hidrorrefino e a capacidade instalada de HCC sugere que o fato de uma nação se dedicar à pesquisa no tema se reflete no investimento em unidades industriais empregando a tecnologia estudada.

Tabela VII.1 – Matriz de correlação entre as variáveis consideradas.

	Patentes	**Cap. destilação**	**Cap. HCC**
Artigos	0,869	0,913	0,785
Patentes		0,906	0,896
Cap. Destilação			0,913

A correlação dos dados de capacidade instalada é maior com o número de patentes que com o número de artigos, reforçando a hipótese de que as patentes estão ligadas mais diretamente com a aplicação industrial da tecnologia do que os artigos. Estes, na média, estão

mais ligados a estudos de caráter mais básico ou intermediário. Assim, um modelo que descreva como os aspectos de pesquisa tecnológica se relacionam com a aplicação industrial de HCC pode ser proposto conforme ilustrado na Figura VII.4. Ressalve-se que o modelo não pretende esgotar todos os fatores que interferem no problema (alguns dos quais serão discutidos mais adiante), mas apenas o papel das variáveis prospectadas no presente estudo de mestrado.

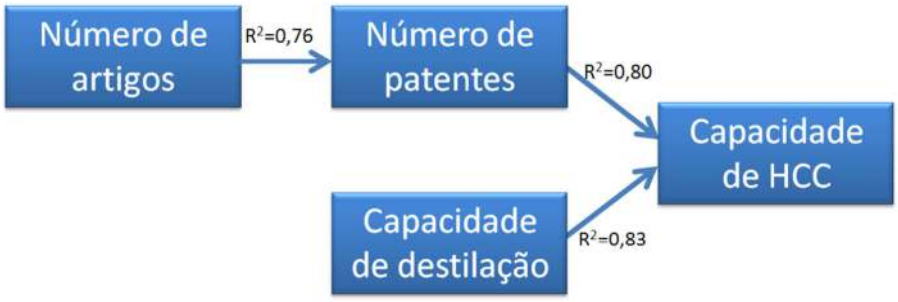


Figura VII.4 – Esquema do modelo simplificado proposto para a capacidade instalada de hidrocraqueamento. Fonte: Elaboração própria.

O modelo ilustrado na Figura VII.4 pode ser traduzido como a equação representativa de uma regressão linear múltipla, na forma de:

$$(Cap.HCC) = a \cdot (Patentes) + b \cdot (Cap.Dest.) + c$$

onde *(Cap. HCC)* é a capacidade instalada de hidrocraqueamento em 1000 b/d, *(Patentes)* é o número de patentes publicadas sobre hidrorrefino, *(Cap. Dest.)* é a capacidade de destilação em 1000 b/d e *a*, *b* e *c* são os coeficientes da regressão.

Os coeficientes ajustados pela regressão múltipla estão apresentados na Tabela VII.2, juntamente com o valor estatístico p. Com exceção do termo independente, os coeficientes ligados às duas variáveis independentes consideradas são considerados estatisticamente significantes. O modelo obtido dessa forma permite estimar a capacidade instalada de HCC de cada país com uma precisão tal que a correlação entre os valores estimados e os reais é de **R=0,93**. Provavelmente essa correlação poderia ser aumentada ainda mais se fossem incluídos no modelo variáveis representativas do contexto legal (por exemplo, os teores permitidos de enxofre nos combustíveis) ou geopolítico (posição do país com relação a blocos econômicos, facilidade de aquisição ou intercâmbio de tecnologia etc.). Outro ponto que também poderia ser levado em conta são efeitos como a característica de defasagem da forma discutida Seção VII.1 (entre artigos e patentes, e também entre patentes e capacidade

instalada). Por simplicidade, tais fatores não foram incluídos no modelo, uma vez que isso não prejudica a análise pretendida. Note-se que mesmo a consideração, implícita no modelo, de que não há troca de conhecimento entre os países considerados não chega a prejudicar a análise, uma vez que o modelo apresenta coeficientes estatisticamente significativos e uma elevada correlação entre valores previstos e reais.

Tabela VII.2 – Parâmetros do modelo proposto para a capacidade instalada de hidrocraqueamento.

		Coeficiente	Correlação com Cap.HCC	Valor p
Patentes	a	0,34 ± 0,07	0,896	< 0,0001
Cap. destilação	b	0,040 ± 0,06	0,913	< 0,0001
Termo independente	c	3,7 ± 5,6	-	0,52

Quando se analisa mais detalhadamente os dados obtidos através da correlação múltipla, percebe-se que algumas das maiores discrepâncias (entre dados previstos e reais) estão relacionadas aos países da antiga Cortina de Ferro. A começar pela Rússia que, como estado sucessor da União Soviética, contabiliza todos os documentos publicados no âmbito do país extinto, mas apenas as unidades de processamento instaladas em seu território atual. Por outro lado, países que estiveram sob influência soviética, como a Ucrânia e a Polônia, tinham relativamente pouco incentivo para o desenvolvimento local de tecnologia própria, mas compartilhavam dos resultados de pesquisa centralizados em Moscou – o que se traduz, hoje, numa capacidade de HCC superior à que se poderia esperar com base no número de patentes publicadas.

Uma análise talvez ainda mais interessante é atentar para os países em que a capacidade de HCC real é inferior àquela prevista pelo modelo. Nesse sentido, destacam-se o Brasil e a Venezuela. Assim, os dados do modelo sugerem que esses países são potenciais novos entrantes no grupo de nações dotadas de hidrocraqueamento. Uma análise desse tipo, em que o grau de maturidade tecnológica de um país é usado para inferir a sua entrada no mercado da referida tecnologia, é de evidente interesse para tomadores de decisão e investidores. Da mesma forma, a capacidade atual instalada na China é inferior à prevista pelo modelo, indicando que ainda há espaço para mais crescimento nesse país asiático.

Capítulo VIII - Conclusões

A presente dissertação de mestrado investigou a situação atual das tecnologias de hidrorrefino de petróleo no mundo, sua capacidade produtiva e desenvolvimento científico e tecnológico, apresentando como resultado o perfil do refino de petróleo e das tecnologias de hidrorrefino através do estudo de seus dados operacionais e de publicação de pesquisas e desenvolvimentos na forma de artigos técnicos e patentes, bem como suas expectativas futuras.

O perfil geográfico e tecnológico do refino de petróleo indica que a Ásia-Pacífico é, atualmente, a região com maior capacidade de destilação de óleo bruto, sendo responsável por 36,2 % da destilação mundial de petróleo. A América do Norte, segunda região em destilação de petróleo com 22,5 % de todo óleo processado, possui liderança nos processos mais complexos como craqueamento catalítico, reforma, coqueamento e hidrocraqueamento.

Apesar de a indústria do petróleo ser um negócio global, os perfis dos parques de refino são bastante dependentes da demanda regional e também da disponibilidade da tecnologia (principalmente nos casos onde esta disponibilidade é restrita).

Os Estados Unidos se destacam na publicação de artigos e patentes sobre a tecnologia estudada, sendo país de origem de 19,8 % das instituições que publicaram artigos e país de prioridade de 43,4 % das patentes depositadas. A empresa chinesa SINOPEC é a instituição que mais publicou artigos no tema, 650 no total, e o Institut Français du Petrole é a instituição com o maior número de pedidos de patentes, 660.

A colaboração entre instituições para o desenvolvimento de tecnologias é pequena, sendo menor para artigos, onde 1,2 % dos trabalhos foi desenvolvido em parceria, que em patentes, que conta com 12,6 % dos documentos desenvolvidos com alguma parceira.

Entre os pesquisadores, 72,0 % dos artigos e 79,6 % das patentes foram publicados em colaboração, indicando que a colaboração se dá principalmente intramuros, ou seja, dentro das instituições.

A defasagem entre a publicação de artigos e de patentes, de cerca de 10 a 20 anos, indica o surgimento mais tardio dos documentos de patentes, fato explicado devido às patentes estarem ligadas a uma fase mais madura da tecnologia.

Foi proposto um modelo de regressão múltipla em que a intensidade da pesquisa e desenvolvimento sobre hidrorrefino se mostrou estar relacionada com a capacidade instalada de processamento por HCC. Tal modelo permite que se faça uma previsão de onde serão instaladas prováveis novas unidades desse processo.

A correlação entre a quantidade de documentos publicados sobre o tema hidrorrefino e a capacidade instalada de HCC sugere fortemente que o fato de uma nação se dedicar à pesquisa no tema se reflete no investimento em unidades industriais empregando a tecnologia estudada, sendo a correlação com patentes mais forte do que a correlação com artigos, corroborando a aplicabilidade desse tipo de documento.

Referências Bibliográficas

ABADIE, E. **Processos de refino**. Curso de formação de operadores de refinaria. Apostila. Rio de Janeiro: Universidade Petrobras, 2002.

AKAISHI, J. et al. "Reconstructing history of social network evolution using web search engines". **Bio-Inspired Models of Network, Informartion and Computing Systems**, v. 87, pp.155-162, 2012.

ALEIXANDRE, J. L. et al. "Mapping the scientific research on wine and health (2001-2011)". **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 49, pp. 11871-11880, 2013.

APONTE F., G. M. et al. "Análisis bibliométrico y de mercado de las empresas petroleras latinoamericanas". **Vision Tecnologica**, v. 5, n. 1, pp. 49-58, 1997.

ARORA, S. K. et al. "Capturing new developments in an emerging technology: an updated search strategy for identifying nanotechnology research outputs". **Scientometrics**, v. 95, n. 1, pp. 351-370, 2013.

BASBERG, B. L. "Technological change in the Norwegian whaling industry: a case-study in the use of patent-statistics as a technology indicator". **Research Policy**, v. 11, n. 3, pp. 163-171, 1982.

BINZ, C.; TRUFFER, B.; COENEN, L. "Why space matters in technological innovation systems: mapping global knowledge dynamics of membrane bioreactor technology". **Research Policy**, v. 43, n. 1, pp. 138-155, 2014.

BONFÁ, M. H. P.; **Diesel S10: impacto sobre o rendimento do parque de refino brasileiro em 2020 e propostas mitigadoras**; Dissertação de M.Sc.; Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2011.

BP. **Statistical Review of Word Energy** 2013. Disponível em http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/statistical_review_of_world_energy_2013.pdf Acesso em 24 set. 2013.

BRASIL, N. I.; ARAÚJO, M. A. S.; SOUZA, E. C. M. **Processamento de petróleo e gás**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

CANÃS-GUERRERO, I. et al. "Bibliometric analysis in the international context of the 'Construction & Building Technology' category from the Web of Science database". **Construction and Building Materials**, v. 53, pp. 13-25, 28 fev. 2014.

CHEN, R.; CHEN, C. C.; YAU, B. B. "Patent analysis with innovative patent map system". **Telkomnika**, v. 12, n. 2, pp. 917-923, fev. 2014.

CHINA to fund $10 bn megarefinery in Ecuador. **Agence France Presse**, France, 22 jan. 2014.

CHOE, H, et al. "Patent citation network analysis for the domain of organic photovoltaic cells: country, institution, and technology field". **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 26, pp. 492-505, 2013.

CHOI, J.; HWANG, Y-S. "Patent keyword network analysis for improving technology development efficiency". **Technological Forecasting & Social Change**, 2013. Disponível em http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2013.07.004 Acesso em 22 jan. 2014.

CINDRELLA, L. el al. "Gas diffusion layer for proton exchange membrane fuel cells: a review". **Journal of Power Sources**, v. 194, n. 1, pp. 146-160, 2009.

DELGAUDIO, C. V. P.; PINOTTI, R. “Hidrorrefino: o caminho para um era de combustíveis limpos”. **Petro & Química**, n. 350, pp. 44-48, 2013.

DORAISAMY, H.; VICE, D. H.; HELLECK, P. M. "Detection of hydrocarbon reservoir boundaries using neural network analysis of surface geochemical data". **AAPG Bulletin**, v. 84, n. 12, pp. 1893-1904, 2000.

EIA - U.S. Energy Information Administration. **Country Profile: Libya.** 10 out. 2013. Disponível em http://www.eia.gov/countries/analysisbriefs/Libya/libya.pdf Acesso em 17 dez. 2013.

ENDACOTT, J.; POOLMAN, R. "Looking for insights: quality control initiatives for enhancing patent searches". **World Patent Information**, v. 35, n. 1, pp.3-7, 2013.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **BEN - Balanço Energético Nacional** 2013: ano base 2012. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf Acesso em: 21 ago. 2013.

ERKINA, L. I.; CHERNYI, Y. I. "Graphoanalytical study on the economic effect of incorporating hydrocracking of the distillate feedstock in oil refineries of the fuel profile". **Chemistry and Technology of Fuels and Oils**, v. 8, n. 1, pp. 38-42, 1972.

FAHIM, M. A.; AL-SAHHAF, T.; ELKILANI, A. S. **Introdução ao refino de petróleo**. Rio de Janeiro: Elsevier: 2012.

FARAH, M. A. Os derivados do petróleo. In: BRASIL, N. I.; ARAÚJO, M. A. S.; SOUZA, E. C. M. **Processamento de petróleo e gás**. Rio de Janeiro: LTC, p. 23-47, 2011.

FARAH, M. A. **Petróleo e seus derivados**: definição, constituição, aplicação, especificações, características de qualidade. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

FARGE, E. Libya's rebel oil firm Agoco says all refineries shut. 27 ago. 2011. **Reuters**. Disponível em http://mobile.reuters.com/article/topNews/idUSTRE77Q1V520110827 Acesso em 17 dez. 2013.

FORTUNY, M. et al. “Principais aplicações das microondas na produção e refino de petróleo”. **Química Nova**, São Paulo, v.31, n.6, pp. 1553-1561, 2008.

GUPENG, Z.; XIANGDONG, C. "The value of invention patents in China: country origin and technology field differences”. **China Economic Review**, v. 23, pp. 357-370, 2012.

GAO et al. "Technology life cycle analysis method based on patent documents". **Technological Forecasting & Social Change**, v. 80, n. 3, pp. 398-407, 2013.

GRANDJEAN, N. et al. “Competitive intelligence and patent analysis in drug discovery: mining the competitive knowledge bases and patents”. **Drug Discovery Today: Technologies**, v. 2, n. 3, pp. 211-215, 2005.

HE, D.; LI, M. "Empirical analysis of patent information application in China's IT industry". **Journal of Applied Sciences**, v. 13, n. 23, pp. 5606-5610, 2013.

HWANG, S. H. "An analysis of industrial convergence coefficient using patent data in Korea". In: **International Conference on Advanced Communication Technology**, ICACT, pp. 391-394, PyeongChang, South Korea, jan. 2013.

HUANG, L. et al. "Four dimensional science and technology planning: a new approach based on bibliometrics and technology roadmapping". **Technological Forecasting & Social Change**, v. 81, n. 1, pp. 39-41, 2014.

JOHNSTON, D. “Complexity index indicates refinery capability, value”. **Oil & Gas Journal**, v. 94, n. 12, pp. 74-77, 1996.

KATO, M.; ANDO, A. "The relationship between research performance and international collaboration in chemistry". **Scientometrics**, v. 97, n. 3, pp. 535-553, 2013.

KIM, H.; SONG, J. "Social network analysis of patent infringement lawsuits". **Technological Forecasting & Social Change**, v. 80, n. 5, pp. 944-955, 2013.

KIM, J. E. "Energy security and climate change: how oil endowment influences alternative vehicle innovation?". **Energy Policy**, v. 66, pp. 400-410, 2014.

KIRIAMA et al. "A lead for transvaluation of global nuclear energy research and funded projects in Japan". **Applied Energy**, v. 109, pp. 145-153, 2013.

KUPFER, D.; TIGRE, P. B. Prospecção tecnológica. In: CARUSO, L. A. C.; TIGRE, P. B. (Coord.). **Modelo SENAI de Prospecção**: documento metodológico. Montevideo: Cintefor/OIT, 2004. pp. 17-35. Disponível em http://www.ie.ufrj.br/gic/pdfs/modelo_senai_de_prospeccao_cap2.pdf Acesso em 01 out. 2013.

LUCHENG, H.; YANHUA, Y.; ZHIHUA, Z. “A study on the application of data mining in the patent information analysis for company”. In: **International Workshop on Education Technology and Computer Science**, 2, China, 7 mar. 2010, pp. 618-622.

MACHADO, E. L. **Economia de baixo carbono**: avaliação de impactos de restrições e perspectivas tecnológicas. São Paulo: USP, 2012. Disponível em http://www.ebc.fearp.usp.br/arq_docs/Petroleo_012013.pdf Acesso em 13 ago. 2013.

MARIANO, J. B. **Impactos ambientais do refino de petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência, 2005.

MEXICAN energy reforms. **Energy Monitor Worldwide**, Jordan, 28 jan. 2014.

MOYA ANEGÓN, F.; LÓPEZ ILLESCAS, C.; MOED, H. F. "How to interpret the position of private sector institutions in bibliometric rankings of research institutions". **Scientometrics**, v. 98, n, 1, pp. 283-298, 2014.

NAM, Y.; BARNETT, G. A. "Globalization of technology: network analysis of global patents and trademarks". **Technological Forecasting & Social Change**, v. 78, n. 8, pp. 1471-1485, 2011.

NARIN, F.; NOMA, E. "Patents as indicators of corporate technological strength". **Research Policy**, v. 16, n. 2-4, pp. 143-155, 1978.

NOOY, W.; MRVAR, A.; BATAGELJ, V. **Exploratory social network analysis with Pajek**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

OLIVEIRA, L. V.; ZOTIN, J. L. **Hidroprocessamento**. Apostila do Programa Trainees Petrobras. Rio de Janeiro: Universidade Petrobras, 2003.

OWOO - OPEC's World Oil Outlook 2012. **Oil downstream outlook to 2035**. Disponível em http://www.opec.org/opec_web/static_files_project/media/downloads/publications/WOO2012Section_II.pdf Acesso em 21 set. 2013.

PAAP, J. Elements of technology strategy: identification of key technologies and developing sourcing, innovation and balancing strategies. In: **Saudi Aramco Tehnical Exchange Meeting**, Saudi Arabia, 28 abr. 2003. Disponível em http://www.jaypaap.com/articles/TEM%202003%20-%20Paap%20Paper-rev1.pdf Acesso em 20 jan. 2014.

PARK, H. et al. "A patent intelligence system for strategic technology planning". **Expert Systems With Applications**, v. 40, n. 7, pp. 2372-2390, 2013.

PERISSE, J. B.; **Evolução do refino de petróleo no Brasil**; Dissertação de M.Sc.; Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro; Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2007.

PERISSE, J. B.; ODDONE, M. R. R. “O impacto das unidades de coqueamento retardado no futuro esquema de refino da Petrobras”. In: **Rio Oil and Gas Expo Conference**, Rio de Janeiro, set. 2006. IBP 1453.

PERISSE, J. B.; ODDONE, M. R. R. “Importância do hidrorrefino no parque de refino brasileiro”. In: **Rio Oil and Gas Expo Conference**, Rio de Janeiro, set. 2008. IPB 1752.

RESTREPO, G.; LLANOS, E. J.; SILVA, A. E. "Lemont B. Kier: a bibliometric exploration of his scientific production and its use". **Current Computer-Aided Drug Design**, v. 9, n. 4, pp. 491-505, 2013.

RIZZI, F.; VAN ECK, N. J.; FREY, M. "The production of scientific knowledge on renewable energies: worldwide trends, dynamics and challenges and implications for management". **Renewable Energy**, v. 62, pp. 657-671, 2014.

ROJAS SOLA, J. I.; SAN-ANTONIO GÓMEZ, C. "Análisis bibliométrico de las publicaciones científicas mexicanas en la categoría engineering, chemical de la base de datos Web of

Science (1997-2008)". **Revista Mexicana de Ingeniería Química**, v. 9, n. 3, pp. 231-240, 2010.

ROMO-FERNÁNDEZ, L. M. et al. "Analysis of Europe's scientific production on renewable energies". **Renewable Energy**, v. 36, pp. 2529-2537, 2011.

SALAH, A. A. A.; SALAH, A. A. "Flow of innovation in deviantArt: following artists on an online social network site". **Mind & Society**, v. 12, n. 1, pp. 137-149, 2013.

SHAFI, T. "Oil & gas refining & marketing transportation". **Standard & Poor's Industry Investment Reviews**, 31 jan. 2014.

SHIH, M. J.; LIU, D. R.; HSU, M. L. "Discovering competitive intelligence by mining changes in patent trends". **Expert System with Applications**, v. 37, n. 4, pp. 2882-2890, 2010.

SILVA, C. L. T. et al. “Preparo de óxido de nióbio suportado em alumina por decomposição química em fase vapor: caracterização por espectroscopia vibracional e termogravimetria”. **Química Nova**, São Paulo, v. 21, n. 2, pp. 157-163, abril 1998.

SILVA, M. R.; **Análise bibliométrica da produção científica docente do Programa de Pós-Graduação em Educação Especial / UFSCar: 1998-2003**; Dissertação de M.Sc.; Centro de Educação e Ciências Humanas, Universidade Federal de São Carlos; São Carlos, SP, Brasil, 2004.

SILVA, R. M. C. F. **Hidrorrefino**. Apostila do Programa Trainees Petrobras. Rio de Janeiro: Universidade Petrobras, 2003.

SOUZA, C. G.; BARBASTEFANO, R. G.; LIMA, L. S. “Redes de colaboração científica na área de química no Brasil: um estudo baseado nas coautorias dos artigos da revista Química Nova”. **Química Nova**, v. 35, n. 4, pp. 617-676, 2012. Disponível em http://www.scielo.br/pdf/qn/v35n4/a03v35n4.pdf Acesso em 01 mar. 2013.

STERNITZKE, C.; BARTKOWSKI, A.; SCHRAMM, R. "Visualizing patent statistics by means of social network analysis tools". **World Patent Information**, v. 30, n. 2, pp. 115-131, 2013.

STOOPS, G. "The ‘fabric’ of soil micromorphological research in the 20th century: a bibliometric analysis". **Geoderma**, v. 213, pp. 193-202, 2014.

SZKLO, A. S. **Fundamentos do refino do petróleo.** Rio de Janeiro: Interciência, 2005.

TEIXEIRA, R.C.; GUIMARÃES, P.S.; TRINDADE, E.D.; "Technology prospecting applied to an emerging market company". In: **Proceedings of International Association for Management of Technology**, pp. 1-11, Porto Alegre, Abril 2013-a.

TEIXEIRA, R.C.; GUIMARÃES, P.S.; TRINDADE, E.D.; "Technology prospecting as business strategy methodology". In: **Proceedings of International Association for Management of Technology**, pp. 1-11, Porto Alegre, Abril 2013-b.

TRAPPEY, C. V. et al. "Using patent data for technology forecasting: China RFID patent analysis". **Advanced Engineering Informatics**, v. 25, n. 1, pp. 53-64, 2011.

VASCONCELLOS, A. G.; MOREL, C. M. "Enabling policy planning and innovation management through patent information an co-authorship network analyses: a study of tuberculosis in Brazil". **PLOS ONE**, v. 7, n. 10, pp. 1-10, 2012.

VELICHETY, S.; RAM, S. Common citation analysis and technology overlap factor: an empirical investigation of litigated patents using network analysis. In: PEFFERS, K.; ROTHENBERGER, M.; KUECHLER, B. (Eds.) **Design Science Research in Information Systems**: advances in theory and practice. Berlin: Springer-Verlag, 2012. pp. 287-293.

VERGARA, J. C.; COMAI, A.; MILLÁN, J. T. **Software para la inteligencia tecnológica de patentes**: evaluación de aplicativos informáticos y necesidades de inteligencia tecnológica. Barcelona: EMECOM; PUZZLE, 2006.

YANG, L. et al. "Global trends of solid waste research from 1997 to 2011 by using bibliometric analysis". **Scientometrics**, v. 96, n. 1, pp. 133-146, 2013.

YANG, L. F.; XU, J. H.; NEUHÄUSLER, P. "Electric vehicle technology in China: an exploratory patent analysis". **World Patent Information**, v.35, n. 4, pp. 305-312, dez. 2013.

YAOYANG, X.; BOING, W. J. "Mapping biofuel field: a bibliometric evaluation of research output". **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 28, pp. 82-91, 2013.

WANG, Q. et al. "A bibliometric analysis of research on the risk of engineering nanomaterials during 1999-2012". **Science of the Total Environment**, v. 473-474, pp. 483-489, 2014.

WILLIAMS, W.; PARKES, E.L.; DAVIES, P. "Wordle: a method for analysing MBA student induction". **The International Journal of Management Education**, v. 11, n. 1, pp. 44-53, 2011.

Apêndice I - Tabela de dados para alimentação do modelo

País	Código WIPO	Número de Artigos	Número de Patentes	Capacidade de Destilação (1000 b/d)	Capacidade de HCC (1000 b/d)
África do Sul	ZA	34	1	520	12
Albânia	AL	1	0	27	0
Alemanha	DE	430	52	2.366	182
Angola	AO	0	0	39	0
Curaçao	AN *	0	0	320	0
Arábia Saudita	SA	66	0	2.419	133
Argélia	DZ	6	0	462	0
Argentina	AR	90	0	620	17
Armênia	AM	1	0	0	0
Aruba	AW	0	0	235	0
Austrália	AU	115	4	767	21
Áustria	AT	9	0	209	0
Azerbaijão	AZ	49	0	399	0
Bahrein	BH	3	0	254	54
Bangladesh	BD	1	0	33	1
Bélgica	BE	133	7	740	0
Bielorrússia	BY	7	0	493	30
Bolívia	BO	0	0	41	0
Bósnia e Herzegovina	BA	1	0	24	0
Brasil	BR	70	8	2.009	0
Brunei	BN	0	0	9	0
Bulgária	BG	45	2	195	0
Camarões	CM	3	0	45	0
Canadá	CA	608	85	1.941	235
Catar	QA	0	0	339	20
Cazaquistão	KZ	24	0	345	0
Chade	TD	0	0	50	0
Chile	CL	35	0	227	50
China	CN	1668	363	7.846	255
Colômbia	CO	22	1	336	0
Coreia do Norte	KP	0	0	71	0
Coreia do Sul	KR	97	35	2.760	308
Costa do Marfim	CI	0	0	84	17
Costa Rica	CR	0	0	24	0

continua

* As Antilhas Holandesas deixaram de existir em 10 de outubro de 2010, passando a fazer parte dos Países Baixos, assim como Curaçao, Sint Maarten, Bonaire, Santo Eustáquio e Saba. Esses países deixaram de ter suas patentes contabilizadas pela Organização Mundial de Propriedade Intelectual (WIPO) no código AN, passando a ser contabilizados no código NL.

País	Código WIPO	Número de Artigos	Número de Patentes	Capacidade de Destilação (1000 b/d)	Capacidade de HCC (1000 b/d)
Croácia	HR	15	0	250	12
Cuba	CU	5	0	302	0
Dinamarca	DK	72	12	169	0
Egito	EG	67	2	726	34
El Salvador	SV	0	0	22	0
Emirados Árabes	AE	1	0	773	31
Equador	EC	0	0	176	0
Eritreia	ER	0	0	15	0
Eslováquia	SK	13	0	115	42
Eslovênia	SI	1	0	14	0
Espanha	ES	283	3	1.443	182
Estados Unidos	US	2185	1620	18.692	1436
Estônia	EE	12	0	0	0
Filipinas	PH	0	0	276	0
Finlândia	FI	41	16	264	84
França	FR	769	461	1.720	72
Gabão	GA	0	0	24	0
Gana	GH	0	0	45	0
Grécia	GR	40	0	492	44
Hungria	HU	130	0	161	0
Iêmen	YE	0	0	140	0
Ilhas Virgens	VG	0	0	350	0
Índia	IN	220	16	4.168	166
Indonésia	ID	5	0	1.068	100
Irã	IR	20	0	1.451	137
Iraque	IQ	7	0	638	74
Irlanda	IE	19	1	71	0
Israel	IL	15	1	220	25
Itália	IT	96	31	2.387	255
Jamaica	JM	0	0	36	0
Japão	JP	952	359	4.582	182
Jordânia	JO	3	4	90	0
Kuweit	KW	49	0	936	116
Libéria	LR	0	0	15	0
Letônia	LV	1	0	0	0

continua

País	Código WIPO	Número de Artigos	Número de Patentes	Capacidade de Destilação (1000 b/d)	Capacidade de HCC (1000 b/d)
Lituânia	LT	0	0	190	0
Luxemburgo	LU	1	2	0	0
Macedônia	MK	0	0	50	0
Malásia	MY	19	1	519	36
Martinica	FR**	0	0	17	0
México	MX	201	7	1.540	0
Mianmar	MM	0	0	57	0
Mongólia	MN	3	0	0	0
Marrocos	MA	4	0	155	0
Nicaragua	NI	0	0	20	0
Níger	NE	0	0	20	0
Nigéria	NG	17	0	445	0
Noruega	NO	15	0	321	0
Nova Zelândia	NL	4	3	118	31
Omã	OM	0	0	201	0
Países Baixos	NL	337	71	1.215	197
Papua Nova Guiné	PG	0	0	33	0
Paquistão	PK	4	0	407	20
Paraguai	PY	0	0	8	0
Peru	PE	3	0	200	0
Polônia	PL	211	7	583	146
Porto Rico	PR	0	0	73	20
Portugal	PT	33	3	330	9
Quênia	KE	0	0	90	0
Quirguistão	KG	0	0	10	0
Reino Unido	GB	298	195	1.789	36
República Checa	CZ	155	8	180	30
República do Congo	CG	1	0	21	2
República Dominicana	DO	0	0	50	0
Romênia	RO	14	1	467	0
Rússia	RU	856	112	5.691	38
Senegal	SN	1	0	25	0
Serra Leoa	SL	0	0	10	0
Sérvia	RS	12	0	215	0

continua

** As patentes de Martinica são contabilizadas juntamente com as patentes francesas.

País	Código WIPO	Número de Artigos	Número de Patentes	Capacidade de Destilação (1000 b/d)	Capacidade de HCC (1000 b/d)
Singapura	SG	3	0	1.357	125
Síria	SY	0	0	240	26
Sri Lanka	LK	0	0	50	0
Sudão	SD	0	0	172	0
Suécia	SE	29	1	437	49
Suíça	SZ	46	2	132	0
Suriname	SR	0	0	7	0
Tailândia	TH	6	8	730	96
Taiwan	TW	23	0	1.260	25
Tanzânia	TZ	0	0	15	0
Trinidad e Tobago	TT	0	0	168	45
Tunísia	TN	5	0	34	0
Turquemenistão	TM	0	0	236	0
Turquia	TR	33	0	663	56
Ucrânia	UA	23	3	857	7
Uruguai	UY	0	0	50	0
Uzbequistão	UZ	3	0	224	0
Venezuela	VE	151	0	1.303	0
Vietnã	VN	3	0	140	0
Zâmbia	ZM	0	0	24	0

conclusão.