

Prospecção tecnológica de processos crude oil to chemicals (COTC) e panorama de implantação mundial

Technological prospecting of crude oil to chemicals (COTC) processes and worldwide implementation overview

DOI:10.34117/bjdv8n2-398

Recebimento dos originais: 07/01/2022

Aceitação para publicação: 23/02/2022

Geyson César de Oliveira Freitas

Graduado em Engenharia Química

Instituição: Petrobrás

Endereço: Rua Emília de Jesus, 176, Apartamento 306 Bloco 2 - Dom Rodrigo - Nova Iguaçu - RJ

E-mail: geysonfreitas@eq.ufrj.br

Gabriel Salathé Brandão Pereira

Graduado em Engenharia Química

Endereço: Rua Pereira Nunes, 158, Apartamento 101

E-mail: gabrielsalathe@hotmail.com

Luiz Fernando Leite

Doutor em Engenharia Química

Instituição: UFRJ

Endereço: Av. Athos da Silveira Ramos 149 - Bloco E, 2º. Andar - E201
Cidade Universitária - Ilha do Fundão Rio de Janeiro – RJ CEP: 21941-909

E-mail: lleite@eq.ufrj.br

RESUMO

O segmento de petroquímica responde por 14% e 8% do total da demanda primária de petróleo e gás, respectivamente. A tecnologia COTC permite a conversão direta de petróleo bruto em produtos químicos de alto valor, em vez dos combustíveis tradicionais para transporte. Esse trabalho teve como objetivo analisar a tendência das tecnologias COTC frente às convencionais e apresentar os atuais projetos de plantas COTC que estão sendo desenvolvidos e implementados no mundo. As pesquisas de prospecção tecnológica mostraram que os líderes no desenvolvimento de tecnologias COTC foram Arábia Saudita e China, fato corroborado pelos principais projetos de plantas baseadas nessas tecnologias em implementação no mundo virem desses países. Além disso, essas pesquisas também mostraram que a maioria das tecnologias COTC avaliadas se baseiam nas tecnologias convencionais de produção de olefinas, sendo elas o craqueamento a vapor e o craqueamento catalítico fluido.

Palavras-chave: cotc, petroquímicos, fcc, craqueamento a vapor

ABSTRACT

The petrochemical segment accounts for 14% and 8% of the total primary demand for oil and gas, respectively. COTC technology allows for the direct conversion of crude oil into high-value chemicals rather than traditional transportation fuels. This work aimed to

analyze the trend of COTC technologies compared to conventional ones and present the current projects of COTC plants that are being developed and implemented in the world. The technological prospecting survey showed that the leaders in the development of COTC technologies were Saudi Arabia and China, a fact corroborated by the main projects of plants based on these technologies being implemented in the world, coming from these countries. In addition, this survey also showed that most of the COTC technologies evaluated are based on conventional olefin production technologies, namely steam cracking and fluid catalytic cracking.

Keywords: cotc, petrochemicals, fcc, steam cracking

1 INTRODUÇÃO

Com a expectativa de que a demanda por gasolina e diesel diminua no futuro próximo, as tecnologias de petróleo bruto para produtos químicos (COTC) têm o potencial de se tornarem os processos mais importantes da indústria petroquímica. Esta tendência tem desencadeado intensas pesquisas para maximizar a produção de olefinas leves e aromáticos em detrimento dos combustíveis, o que exige processos disruptivos capazes de transformar o petróleo bruto em produtos químicos de forma eficiente e ambientalmente correta.

No caso brasileiro é importante considerar também que as descobertas do pré-sal mudaram, ao longo da última década, o perfil de produção de petróleo no Brasil. Cresceu-se em volume e qualidade das correntes produzidas. Em 2010, os três óleos mais produzidos no país foram Roncador, Marlim Sul e Marlim, cujo grau API variava de 19,6 a 24,1 e o teor de enxofre de 0,62 a 0,67%. Já em 2019, as três principais correntes produzidas foram Tupi, Búzios e Sapinhoá, todas do pré-sal, com API de 28,3 a 30,7 graus e enxofre de 0,3 a 0,35%. A produção de óleos mais leves e com menor teor de enxofre em larga escala impulsionou as exportações brasileiras (DELGADO *et al.*, 2021).

Às expectativas de excedentes de produção de petróleo são apresentadas na Tabela 1-1, juntamente com a previsão da produção e a demanda estimada agregada de petróleo (EPE, 2021).

Tabela 1-1 – Previsão da produção, demanda estimada e excedentes de petróleo no Brasil

Recurso	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
PETRÓLEO	milhões de barris diários									
Produção	3,26	3,38	3,50	3,71	3,91	4,17	4,55	5,03	5,24	5,26
Demanda Estimada	2,03	2,09	2,12	2,16	2,20	2,25	2,30	2,37	2,44	2,53
Excedente	1,23	1,29	1,38	1,55	1,71	1,92	2,25	2,66	2,80	2,73

Fonte: EPE (2021)

Observa-se que a taxa de crescimento da demanda brasileira de petróleo é inferior à da oferta no período, resultando na estimativa de valor excedente de 2,73 milhões de barris diários em 2030. O crescimento reduzido na demanda de combustíveis, aliado a abundância de um petróleo mais leve, cuja tendência é a predominância de compostos parafínicos, vai requerer a aplicação de tecnologias com o propósito de formação de produtos de maiores valores agregados. Desta forma, a oportunidade da maximização da conversão em petroquímicos, utilizando-se, por exemplo, do processamento direto deste petróleo no craqueamento a vapor, é uma opção futura a ser contemplada, o que realça o interesse em tecnologias COTC, para o desenvolvimento de estratégias futuras que possam equacionar a área de óleo & gás brasileira.

O objetivo da prospecção tecnológica nesse trabalho é avaliar o desenvolvimento das tecnologias COTC, desde seu nascimento até os dias de hoje, de forma a obter-se o monitoramento tecnológico do tema, avaliando sua maturação e viabilidade para aplicações futuras na área industrial. Além disso, também foi realizada uma análise dos principais projetos e plantas em desenvolvimento pelo mundo que utilizam essas tecnologias.

2 PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

O método de prospecção tecnológica empregado neste trabalho utiliza informações oriundas dos documentos de artigos científicos e de patentes concedidas. Apesar da importância de se verificar também as patentes solicitadas, optou-se por não as avaliar nesse trabalho por se considerar que os artigos científicos e as patentes concedidas forneceriam um panorama de longo e curto prazo, respectivamente. A Figura 1-1 apresenta o esquema geral da metodologia implementada, baseada nas etapas definidas pelo Núcleo de Estudos Industriais e Tecnológicos – NEITEC da Escola de Química da UFRJ.

Figura 1-1 - Representação esquemática da metodologia de prospecção tecnológica



Fonte: MAZIN (2014)

A Etapa 2a da Figura 1-1, a consulta a especialistas em COTC, não foi realizada no presente trabalho, devido ao seu cunho acadêmico, enquanto a consulta aos especialistas na metodologia proposta se insere no contexto de prospecção tecnológica em empresas e institutos de pesquisa (MAZIN, 2014).

Para a etapa 2c, a identificação das bases de dados a serem utilizadas, optou-se por escolher bases de dados consolidadas pelo mundo. A base de dados escolhida para os artigos foi a Scopus, disponível no site <https://www.scopus.com>. Essa base de dados foi selecionada pela sua grande abrangência, facilidade de download de uma grande quantidade de documentos, alta relevância dos artigos científicos e análises Macro facilitadas pela própria estrutura do site (BORSCHIVER *et al.*, 2017). A base de dados escolhida para as patentes foi a Espacenet, a base de dados europeia, disponível no site <https://worldwide.espacenet.com>. A Espacenet é a base de dados criada pelo Escritório Europeu de Patentes (EPO) (EPO, [s.d.]).

Para realizar a busca nas bases de dados, os termos selecionados foram agrupados em três categorias diferentes, matéria-prima, produto e processo, unidas por um operador AND e com os termos de cada grupo unidos por um operador OR. A pesquisa pelos termos se restringiu aos títulos e resumos dos trabalhos. No grupo das matérias-primas, os termos selecionados foram aqueles que eram equivalentes ao óleo cru. No grupo dos produtos, os termos selecionados foram os produtos mais desejados de um processo COTC, podendo ser de forma geral, como “petroquímicos”, ou mais específicos, como “etileno” e “benzeno”. No grupo dos processos, os termos selecionados foram os processos mais frequentes encontrados na literatura para a obtenção de petroquímicos a partir de óleo cru. As Tabelas 1-2 e 1-3 mostram todos os termos e operadores utilizados para a pesquisa de artigos e patentes, e as expressões finais utilizada nas pesquisas.

Tabela 1-2 – Termos e operadores usados na pesquisa da base de dados do Scopus (acima) e expressão de pesquisa final obtida (abaixo)

Matéria Prima	Produto	Processo	Assuntos Excluídos
"crude oil*" "heavy oil*" petroleum	*chemicals aromatic* olefin* *ethylene* *propylene* benzene* toluene* *xylene* ethylbenzene* *btx*	*crack* thermal* catalyt* pyrol* product* *conversion* "oil to chemical**"	Earth and Planetary Sciences Environmental Sciences Medicine Agricultural and Biology Sciences Biochemistry, Genetics and Molecular Biology Physics and Astronomy Business, Management and Accounting Computer Science Immunology and Microbiology Mathematics Social Sciences
<p>(TITLE ("crude oil*") OR TITLE ("heavy oil*") OR TITLE (petroleum) AND TITLE (*chemicals*) OR TITLE (aromatic*) OR TITLE (olefin*) OR TITLE (*ethylene*) OR TITLE (*propylene*) OR TITLE (benzene*) OR TITLE (toluene*) OR TITLE (*xylene*) OR TITLE (ethylbenzene*) OR TITLE (*btx*) AND TITLE (*crack*) OR TITLE (thermal*) OR TITLE (catalyt*) OR TITLE (pyrol*) OR TITLE (product*) OR TITLE (*conversion*) OR TITLE ("oil to chemical*")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (EXCLUDE (SUBJAREA , "EART") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "ENVI") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "MEDI") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "BIOC") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "AGRI") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "PHYS") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "BUSI") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "COMP") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "IMMU") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "MATH") OR EXCLUDE (SUBJAREA , "SOCI"))</p>			

Fonte: Elaboração própria

Tabela 1-3 – Termos, operadores e identificadores usados na pesquisa da base de dados do Espacenet (acima) e expressão de pesquisa final obtida (abaixo)

Matéria Prima	Produto	Processo
"crude oil" ^{ti} "heavy oil" ^{ti}	chemical* ^{ti} aromatic* ^{ti} olefin* ^{ti} petrochemical* ^{ti} ethylene ^{ta} propylene ^{ta} benzene ^{ta} toluene ^{ta} xylene ^{ta} btx ^{ta}	crack* ^{ti} catalyt* ^{ti} produc* ^{ti} conver* ^{ti}
<p>ti: Identificador de campo para pesquisa apenas no título ta: Identificador de campo para pesquisa no título e no resumo</p>		
<p>(ti = "crude oil" OR ti = "heavy oil") AND (ti = "chemical*" OR ti = "olefin*" OR ti = "aromatic*" OR ta = "btx" OR ta = "ethylene" OR ta = "propylene" OR ta any "benzene" OR ta = "toluene" OR ta any "xylene" OR ti any "petrochemical*") AND (ti = "crack*" OR ti = "catalyt*" OR ti = "produc*" OR ti = "conver*")</p>		

Fonte: Elaboração própria

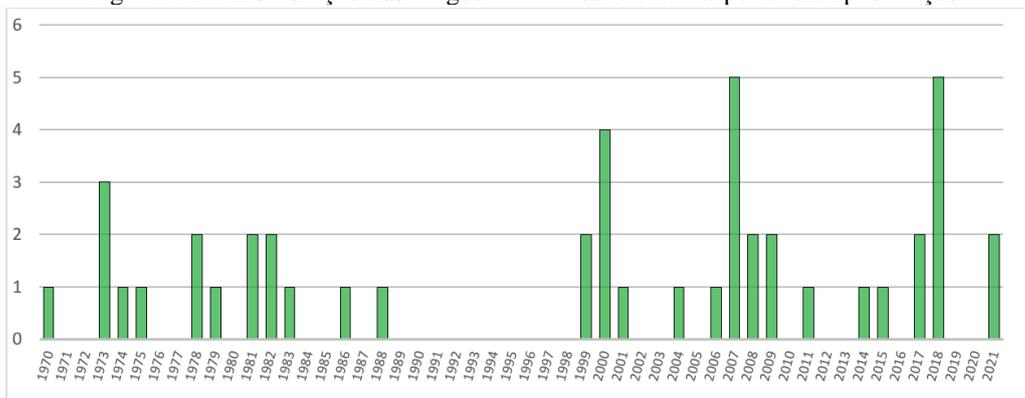
3 PESQUISA E ANÁLISE DE ARTIGOS CIENTÍFICOS E PATENTES CONCEDIDAS

A pesquisa realizada com os parâmetros já citados resultou em 129 artigos científicos e 174 patentes. Após análise mais profunda, considerando o propósito do presente trabalho, foram identificados 46 artigos e 76 patentes relevantes, sobre os quais foram realizadas as análises Macro, Meso e Micro, conforme segue abaixo.

3.1 ANÁLISE MACRO

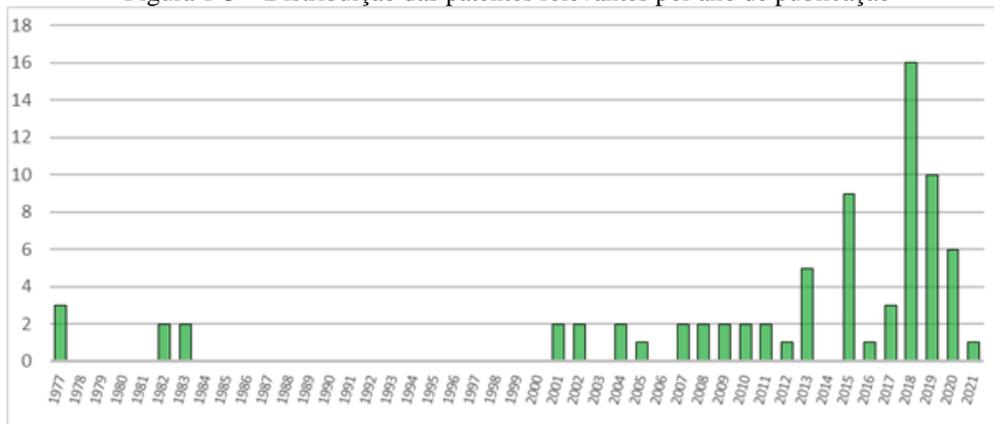
A primeira análise realizada dos documentos, dentro da esfera macro, foi a evolução temporal do número de publicações. As Figuras 1-2 e 1-3 mostram a distribuição dos artigos e patentes relevantes por ano de publicação.

Figura 1-2 – Distribuição dos artigos científicos relevantes por ano de publicação



Fonte: Elaboração própria com base SCOPUS (2021)

Figura 1-3 – Distribuição das patentes relevantes por ano de publicação



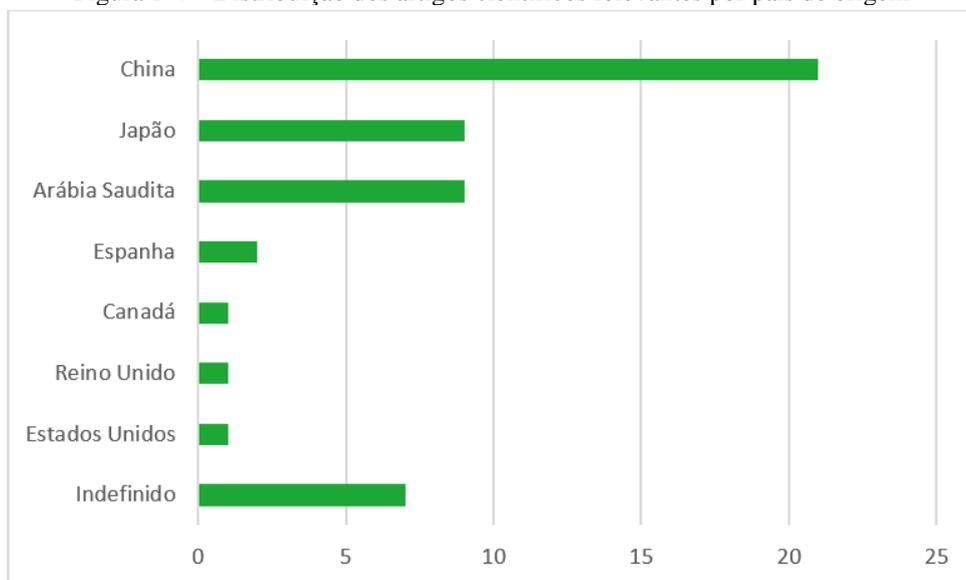
Fonte: Elaboração própria com base EPO (2021)

Como pode ser observado nas Figuras 1-2 e 1-3, publicações científicas sobre o tema ocorrem desde 1970 e demonstram estar concentradas em 2 períodos. Isso evidencia

que no passado as tecnologias COTC foram abordadas, mas passaram por algum intervalo de tempo sem muito destaque, e nos últimos anos têm sido retomadas com maior intensidade. Este período em que não houve publicações coincide com o período em que o preço do petróleo ficou muito baixo, os anos noventa. Isso pode explicar o desinteresse em valorizar as cargas dos processos na produção de produtos de maior valor agregado, como os petroquímicos.

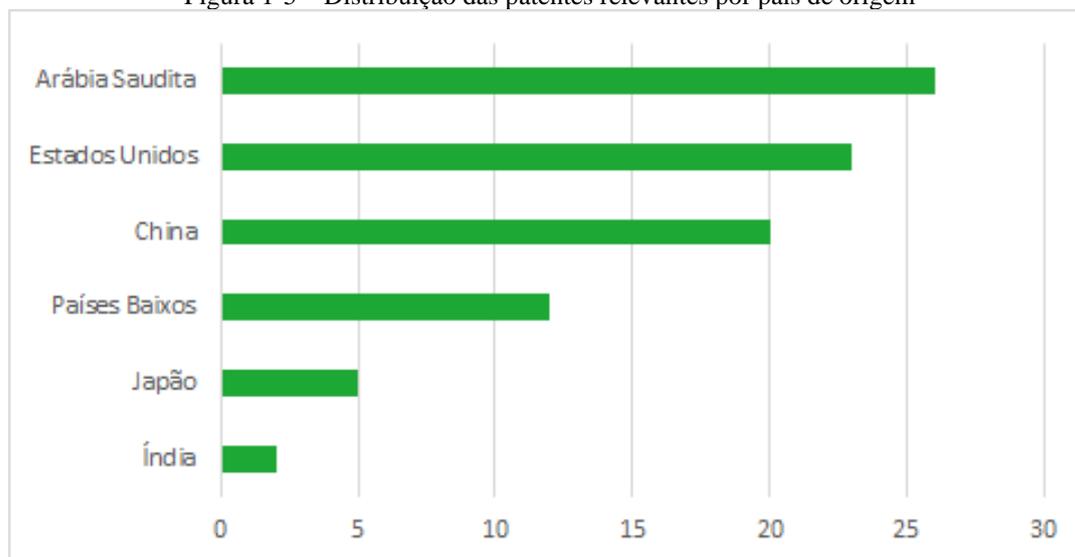
A análise seguinte foi relativa aos principais países de origem das publicações. As Figuras 1-4 e 1-5 mostram a distribuição geográfica dos artigos e patentes relevantes.

Figura 1-4 – Distribuição dos artigos científicos relevantes por país de origem



Fonte: Elaboração própria com base SCOPUS (2021)

Figura 1-5 – Distribuição das patentes relevantes por país de origem

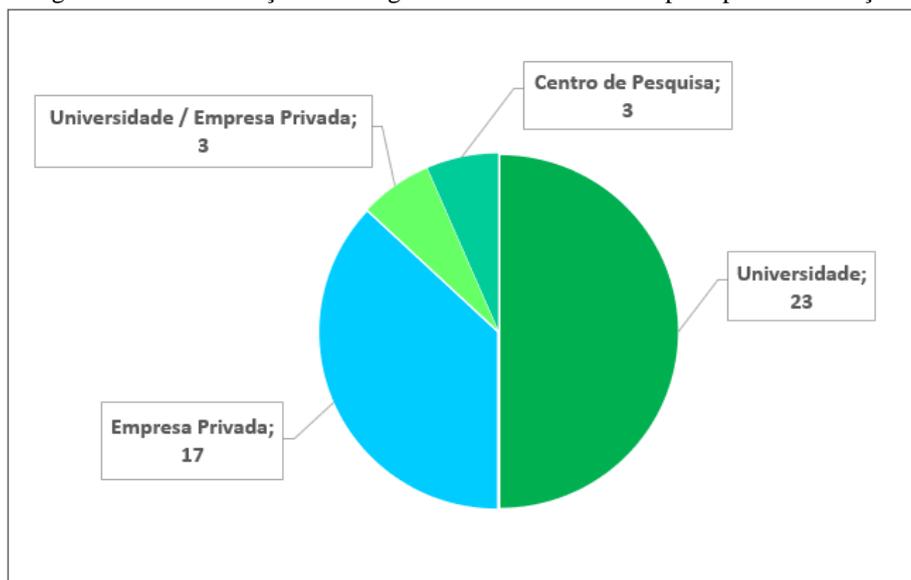


Fonte: Elaboração própria com base EPO (2021)

Os países protagonistas na pesquisa deste tema são a China, o Japão, a Arábia Saudita e Estados Unidos. Os artigos que não possuem, com muita clareza, informações do país de origem, foram classificados como indefinidos.

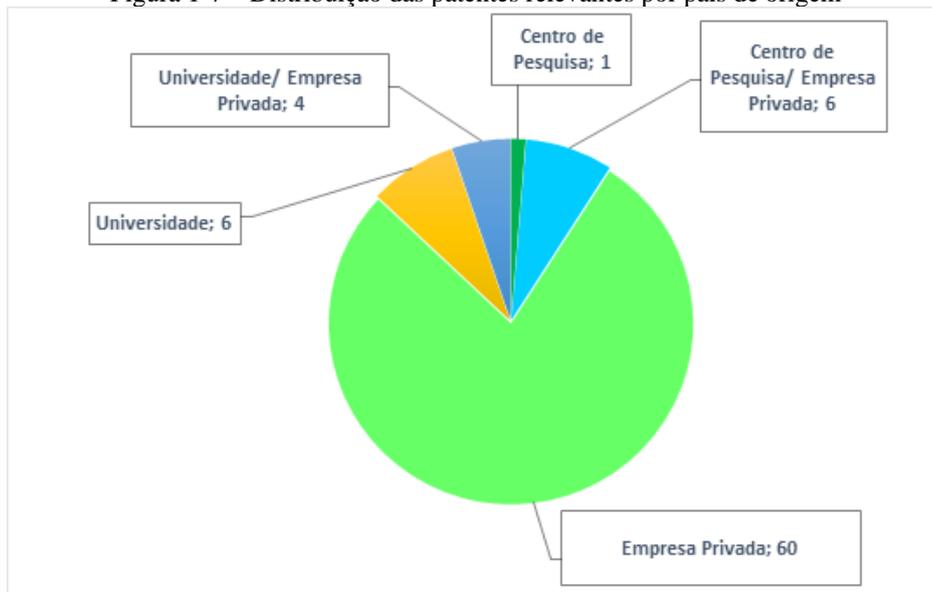
Outra análise realizada apresenta a distribuição dos artigos e patentes relevantes por tipo de instituição (universidade, centro de pesquisa ou empresa privada), conforme mostra as Figuras 1-6 e 1-7, a seguir.

Figura 1-6 – Distribuição dos artigos científicos relevantes por tipo de instituição



Fonte: Elaboração própria com base SCOPUS (2021)

Figura 1-7 – Distribuição das patentes relevantes por país de origem



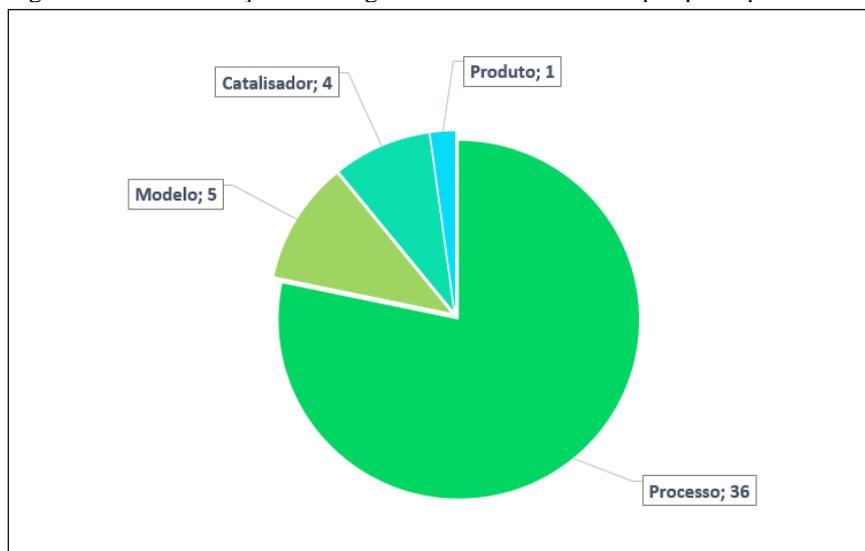
Fonte: Elaboração própria com base EPO (2021)

No período analisado, as universidades publicaram a maioria dos artigos relevantes enquanto as empresas obtiveram a maioria das patentes. Este comportamento era esperado, pois a pesquisa acadêmica tradicionalmente se utiliza deste meio para comunicação de sua produção científica, devido às diversas características respectivas, como a de ampla divulgação. As empresas, de forma geral, têm preferência pelo depósito de patente, devido à proteção para exploração comercial conferida por este de tipo de publicação.

3.2 ANÁLISE MESO

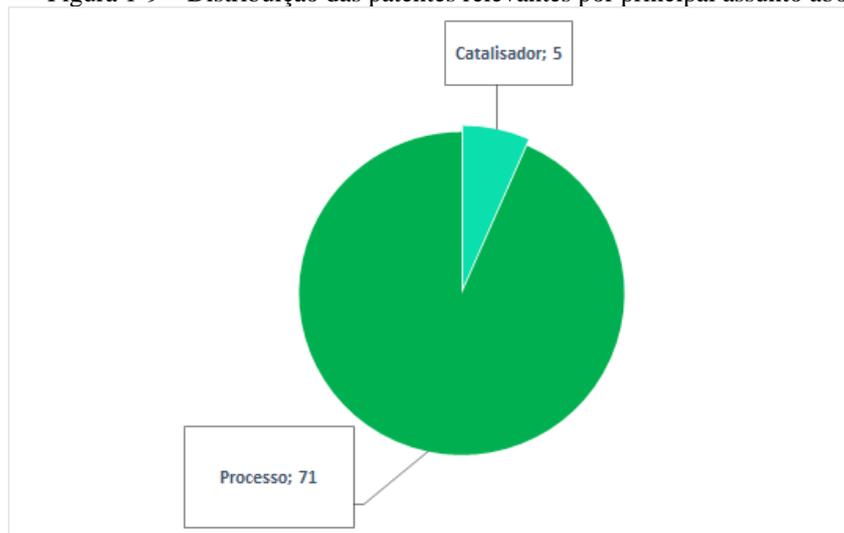
A análise meso consiste na classificação dos artigos com relação ao principal assunto abordado. A taxonomia das categorias propostas para esta análise foram: Processo, Modelo, Catalisador e Produto. Na categoria Processo foram selecionados os documentos que discutiam sobre os desempenhos dos processos e reatores sujeitos às diversas condições, otimização de parâmetros operacionais e revisão histórica de tecnologias. Os documentos que tratavam da modelagem cinética e mecanismo de reações foram classificados como Modelo. Em Catalisador foram classificados os documentos que abordavam sobre composição e avaliação do desempenho de catalisadores. Por fim, o que discutiu sobre caracterização de produtos foi categorizado como Produto. As Figuras 1-8 e 1-9 apresentam a distribuição dos artigos e patentes nas categorias propostas. Pode-se observar que a maior parte dos artigos e patentes relevantes foi classificada como Processo.

Figura 1-8 – Distribuição dos artigos científicos relevantes por principal assunto abordado



Fonte: Elaboração própria com base SCOPUS (2021)

Figura 1-9 – Distribuição das patentes relevantes por principal assunto abordado

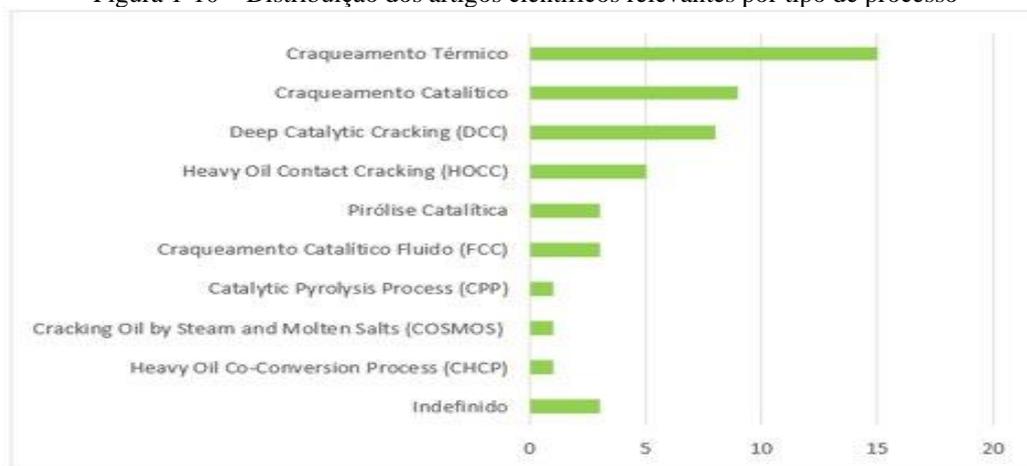


Fonte: Elaboração própria com base EPO (2021)

3.3 ANÁLISE MICRO

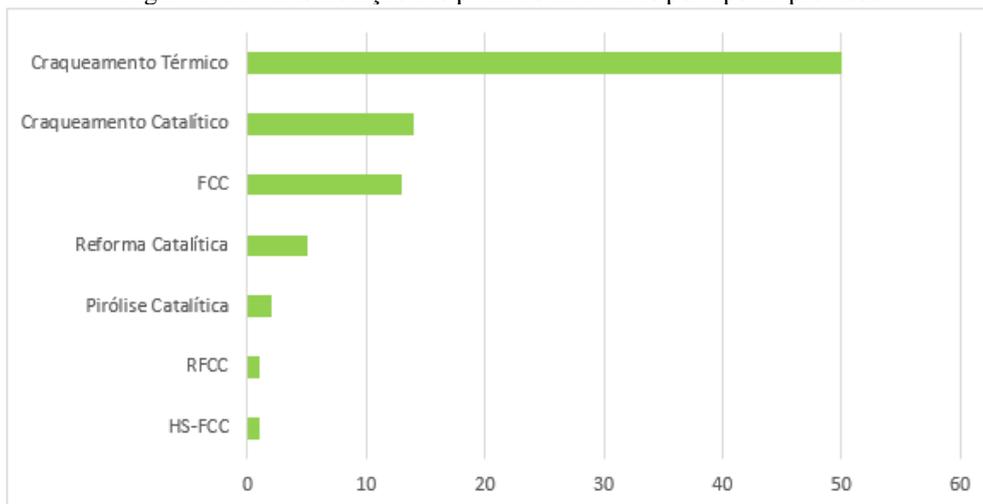
Nesta etapa de análise os documentos foram categorizados quanto ao tipo do processo abordado nos artigos relevantes. Os documentos de revisão de tecnologias que abordaram vários processos foram classificados como Diversos. Nas categorias Craqueamento Térmico, Craqueamento Catalítico e Pirólise Catalítica foram selecionados os documentos que trataram destes referidos processos, sem especificar a tecnologia utilizada. Nos casos em que o processo recaísse sobre uma modificação específica de um processo tradicional do refino, este era tratado separadamente, como no caso do FCC. Os casos de Craqueamento térmico e catalítico tem como carga o petróleo. As Figuras 1-10 e 1-11 apresentam a distribuição dos artigos e patentes por tipo de processo.

Figura 1-10 – Distribuição dos artigos científicos relevantes por tipo de processo



Fonte: Elaboração própria com base SCOPUS (2021)

Figura 1-11 – Distribuição das patentes relevantes por tipo de processo

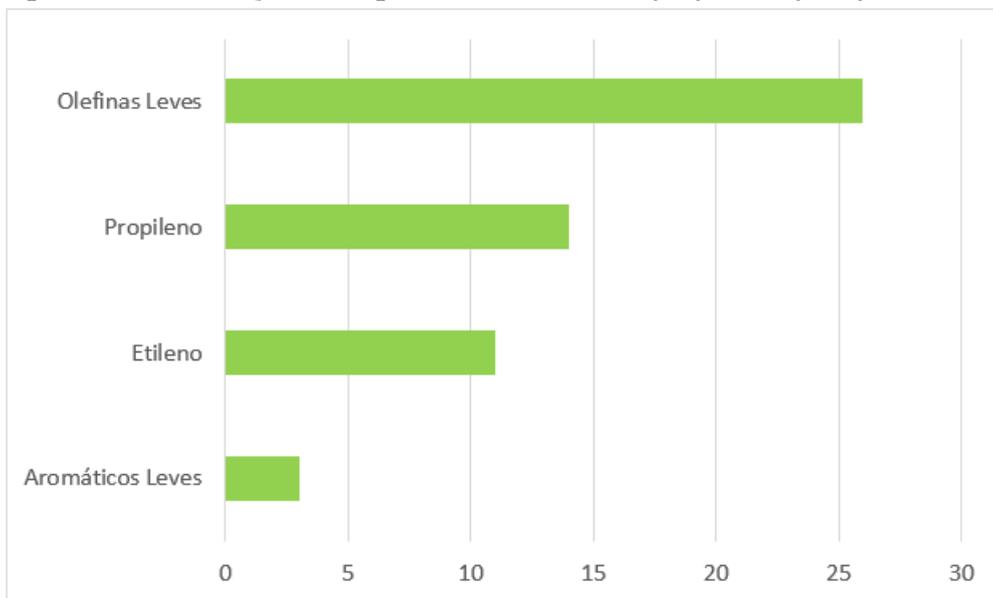


Fonte: Elaboração própria com base EPO (2021)

Observa-se que os processos de craqueamento térmico e craqueamento catalítico são os que relacionaram os maiores números de documentos. Este resultado ocorreu como esperado, em função destes consistirem historicamente nos principais processos de produção de petroquímicos da indústria.

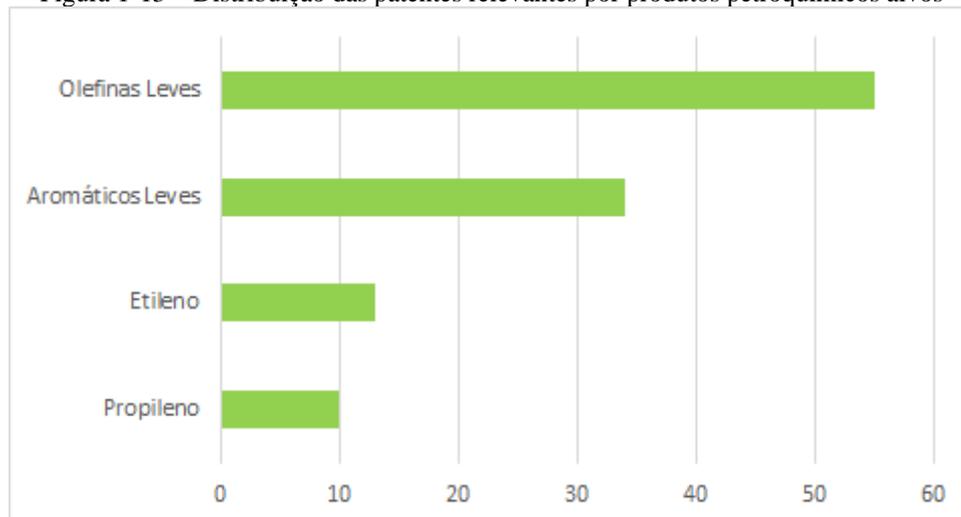
Por fim, foi realizada análise em relação aos produtos petroquímicos alvos citados pelos documentos, onde estes foram classificados nas seguintes categorias: Olefinas Leves, Aromáticos Leves, Propileno e Etileno. As Figuras 1-12 e 1-13 apresentam a distribuição dos artigos e patentes por produtos petroquímicos alvos.

Figura 1-12 – Distribuição dos artigos científicos relevantes por produtos petroquímicos alvos



Fonte: Elaboração própria com base SCOPUS (2021)

Figura 1-13 – Distribuição das patentes relevantes por produtos petroquímicos alvo



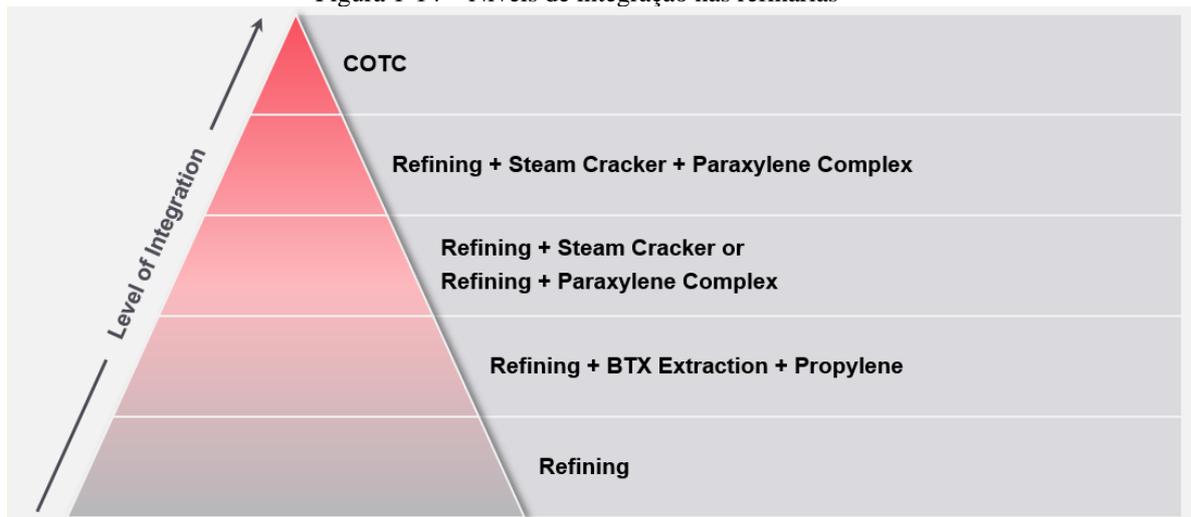
Fonte: Elaboração própria com base EPO (2021)

Como pode-se notar, as olefinas leves, de forma generalizada, são os produtos petroquímicos mais mencionados nos documentos. Os produtos petroquímicos específicos mais abordados nos documentos foram o propileno e o etileno, o que reflete o grande interesse da aplicação das tecnologias COTC para obtenção destes. Vale ressaltar que no caso de mais de um terço das patentes, o produto de interesse era apenas “petroquímicos” de forma geral. Nesses casos, foram considerados como “petroquímicos” as olefinas leves e os aromáticos, por esses serem os dois principais grupos de petroquímicos básicos e por serem citados como exemplo em todas as patentes que tinham “petroquímicos” como produtos alvo.

4 PLANTAS E PROJETOS PELO MUNDO

O segmento de petroquímica responde por 14% e 8% do total da demanda primária de petróleo e gás, respectivamente (IEA, 2018b). As refinarias estão explorando a sua integração aos complexos petroquímicos, já que a produção de petroquímicos deve crescer no futuro próximo, principalmente devido ao aumento da demanda por plásticos nos países em desenvolvimento (SANTOS *et al.*, 2012). A instalação da refinaria convencional era mais focada na maximização da produção de combustíveis para transporte. A tecnologia COTC permite a conversão direta de petróleo bruto em produtos químicos de alto valor, em vez dos combustíveis tradicionais. Ela permite a produção de produtos químicos que excedam 70% a 80% do barril, produzindo matéria-prima química, em oposição a aproximadamente 10% em uma refinaria não integrada (FUTURE BRIDGE, 2019). A Figura 1-14 destaca os níveis de integração nas refinarias.

Figura 1-14 – Níveis de integração nas refinarias



Fonte: FUTURE BRIDGE (2019)

As estratégias mais adotadas para as plantas COTC no mundo são (FUTURE BRIDGE, 2019):

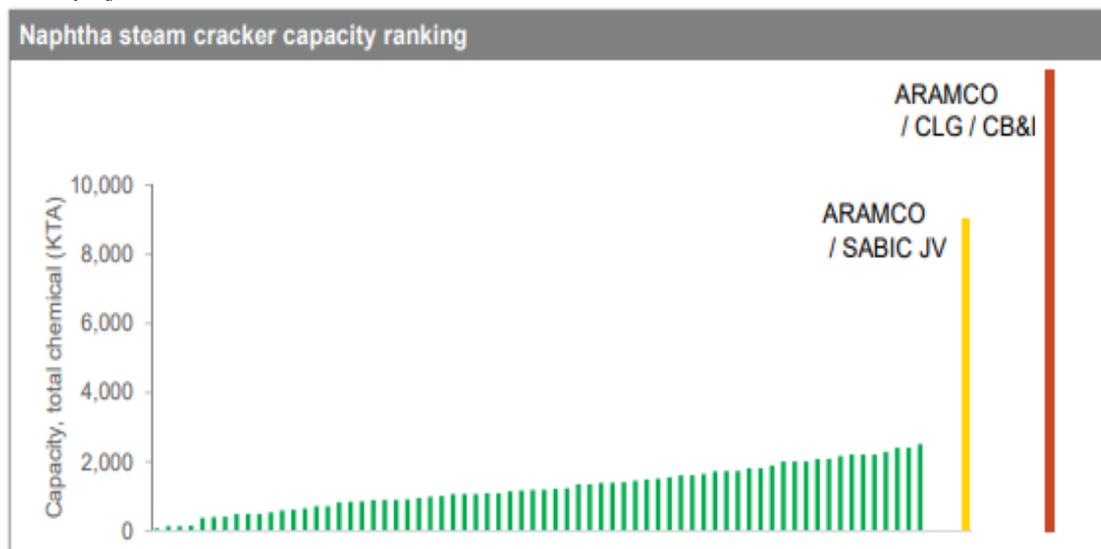
- **Processamento direto de petróleo bruto em craqueamento a vapor:** Recentemente, houve tentativas de usar petróleo bruto leve no craqueamento a vapor. O processo requer pré-condicionamento do petróleo bruto antes de ser alimentado no craqueador a vapor, devido a tendência de formação de coque. A ExxonMobil implementou essa tecnologia em sua refinaria localizada em Cingapura. A Shell patenteou uma tecnologia semelhante com modificações na forma de evitar a formação de coque nas serpentinas do craqueador a vapor.
- **Hidroprocessamento, desasfaltação e craqueamento a vapor integrados:** a Saudi Aramco apresentou patentes com foco no processo integrado de produção de olefinas, compreendendo hidroprocessamento, desasfaltação e craqueamento a vapor. A etapa de hidroprocessamento/desasfaltação produz uma corrente altamente parafínica, desasfaltada e desmetalizada, que posteriormente pode ser processada na unidade de craqueamento a vapor.
- **Processamento de destilados médios e resíduos usando hidrocraqueamento:** Este tipo de estratégia de processamento é adotado pelas empresas chinesas Hengli Petrochemical Ltd., Zhejiang Petroleum and Chemical, Hengyi Industries Sdn Bhd e Jiangsu Shenghong. Envolve hidrocraqueamento de diesel e produtos da unidade de destilação a vácuo para produzir uma corrente de nafta, que pode posteriormente ser processada para produzir compostos aromáticos.

4.1 ARÁBIA SAUDITA

Na Arábia Saudita, a Saudi Aramco e a SABIC realizaram uma *joint venture* em 2018 para o estabelecimento de uma planta COTC, que processará 400.000 barris por dia de petróleo bruto leve árabe para produzir aproximadamente 9 milhões de toneladas de produtos químicos por ano. A planta, considerando sua capacidade de processamento de petróleo bruto e taxa de produção de produtos químicos, deverá ter uma taxa de conversão de 50% de barris de petróleo (FUTUREBRIDGE, 2019).

Além disso, a Aramco assinou um acordo de desenvolvimento de tecnologia conjunta com a Chevron Lummus Global (CLG) e CB&I (agora McDermott) para integrar a tecnologia de craqueamento de etileno da CB&I, as tecnologias de hidroprocessamento da CLG e as tecnologias de *Thermal Crude to Chemicals* (TC2C™) da Saudi Aramco. Se um complexo COTC for construído com base nessa tecnologia futura a partir de 20 milhões de toneladas de petróleo bruto, ele produzirá 14-16 milhões de toneladas de produtos químicos por ano, levando uma grande parte do crescimento anual da demanda química (JOHNSON & CHANG, 2018). A Figura 1-15 mostra o impacto em potencial dos projetos da Aramco em comparação com a capacidade de produção dos craqueadores a vapor globais atuais.

Figura 1-15 - Comparação entre a capacidade de produção dos principais craqueadores a vapor do mundo com os projetos da Saudi Aramco



Fonte: CHANG (2018)

No entanto, em 2020, a Saudi Aramco e a SABIC decidiram reavaliar o projeto mencionado de ambas, estimado em US \$ 20 bilhões, e agora procuram integrar as instalações existentes. A decisão vem no momento em que as empresas petrolíferas

reavaliam globalmente os projetos de energia para economizar dinheiro, com um colapso na demanda causado pela pandemia do coronavírus ameaçando manter os preços do petróleo fracos por um longo tempo (REUTERS, 2020c). A própria Saudi Aramco viu seu lucro cair 73% no segundo quadrimestre de 2020. Como resultado, ela anunciou cortes drásticos em seu programa de investimentos (MCQUE, 2020).

4.2 ÁSIA-PACÍFICO

Quatro COTCs asiáticos - incluindo três na China e um em Brunei - são configurados para produzir volumes máximos de para-xileno (PX). Em Dalian, na China, a Hengli Petrochemical está construindo um complexo refinaria-PX que pode processar 20 milhões de toneladas por ano (equivalente a 400.000 barris por dia) de petróleo bruto médio e pesado (JOHNSON, 2018). A empresa anunciou em maio de 2019 que havia alcançado a produção experimental de linha completa da planta já em operação. O complexo deverá produzir 4,34 milhões de toneladas por ano (MMt/a) de p-xileno, além de 3,9 MMt/a de outros produtos químicos. A conversão química total por barril de petróleo é estimada em 42% (THOMAS, 2019). A configuração do complexo de refinaria de Hengli é baseada principalmente no hidrocraqueamento de diesel, gasóleo e resíduo de vácuo com tecnologias licenciadas pela Axens (FUTURE BRIDGE, 2019).

A Zhejiang Petroleum and Chemical, uma *joint venture* de US \$ 26 bilhões entre Rongsheng, Tongkun Group e Juhua Group, planeja converter 40 milhões de toneladas de petróleo bruto em cerca de 8 milhões de toneladas de PX por ano em duas fases (JOHNSON, 2018). A primeira fase do projeto da refinaria-PX da Zhejiang Petroleum and Chemical na província de Zhejiang, China, foi concluída em 2019, e possui previsão de produzir 4,0 MMt / a de p-xileno, 1,5 MMt/a de benzeno, 1,4 MMt/a de eteno e outros petroquímicos. A conversão química total por barril de petróleo é de cerca de 45%. A Fase 2 do projeto também está em andamento e, quando concluída, terá uma escala semelhante à da Fase 1, mas incluindo dois *crackers* de escala mundial em comparação com um da primeira fase. A conversão química total está prevista para aumentar para 50% (THOMAS, 2019). A configuração do complexo é baseada principalmente no hidrocraqueamento de diesel com tecnologia licenciada da Chevron e hidrocraqueamento de gasóleo com tecnologia licenciada da UOP (IHS MARKIT, 2019).

Com um investimento de US\$ 3,45 bilhões, a Hengyi Industries Sdn Bhd (Hengyi Industries) é o maior investimento estrangeiro feito por uma empresa privada chinesa e o maior investimento estrangeiro direto no Brunei Darussalam. A refinaria e o projeto

petroquímico integrado serão concluídos em duas fases. A Hengyi Industries alcançou o sucesso nas operações da Fase 1 em novembro de 2019, após 2,5 anos de construção e 2,5 meses de atividades de comissionamento ativo (HENGYI, 2021). Nesta etapa a refinaria tem capacidade de processamento de petróleo bruto de 8 milhões de toneladas por ano (tpa) e pode produzir mais de 120.000 b/d de derivados de petróleo, enquanto o complexo petroquímico do projeto pode produzir até 500.000 toneladas por ano de benzeno e 1,5 milhão de tpa de PX (ARGUS MEDIA, 2021). O desenvolvimento da Fase 2 da Hengyi Industries da unidade de Pulau Muara Besar, inclui a expansão da planta de aromáticos e *cracker* da unidade, bem como o aumento da capacidade de processamento de petróleo bruto da refinaria em 14 milhões b/d para 22 milhões b/d. A expansão da Fase 2 está programada para comissionamento em 2022, de acordo com a operadora. Depois de concluído, o projeto equipará a Hengyi Industries com uma capacidade geral de produção de para-xileno de mais de 3,8 milhões de tpa, de acordo com a UOP (BRELSFORD, 2021).

A instalação de Jiangsu Shenghong em Lianyungang, China, é o mais recente de vários grandes projetos de petróleo bruto para produtos químicos na China. Programada para entrar em operação no final de 2021, terá uma capacidade de alimentação de 16 milhões de toneladas / ano (330.000 bpd). O projeto da Shenghong é uma refinaria projetada para produzir uma quantidade muito maior de petroquímicos do que o normal. A Shenghong afirma que produzirá 4 milhões de toneladas por ano de PX, aproximadamente 6 milhões de toneladas por ano de outros produtos químicos e 5,5 milhões de toneladas por ano de combustíveis líquidos. Ela alcançará uma taxa de conversão de aproximadamente 64% de petróleo cru para produtos químicos (IHS MARKIT, 2020).

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho de prospecção tecnológica foi avaliado o desenvolvimento das tecnologias COTC de forma a obter-se o histórico do tema, avaliando sua maturação e viabilidade para aplicações futuras na área industrial. De forma geral, houve um aumento na publicação de artigos e patentes nos últimos quatro anos. Os países que possuem a maior participação na área científica são: Arábia Saudita, China, Japão e Estados Unidos. Os processos mais citados nas publicações foram Craqueamento Térmico e Craqueamento Catalítico, sem especificar a tecnologia utilizada. Os principais produtos

petroquímicos alvos foram as olefinas leves (em sua maioria, etileno e propileno), seguido dos aromáticos.

Os líderes do desenvolvimento de tecnologias COTC são a Arábia Saudita e a China, fato corroborado pelos principais projetos de plantas baseadas nessas tecnologias em implementação no mundo virem desses países. Os projetos desenvolvidos na Arábia Saudita utilizam principalmente processos de craqueamento a vapor com o objetivo de produzir olefinas leves em escala muito superior aos processos convencionais adotados atualmente. Os projetos desenvolvidos na China utilizam principalmente processos de hidrocrackeamento de diesel, gasóleo e resíduo de vácuo com o objetivo de produzir para-xileno.

REFERÊNCIAS

ARGUS MEDIA, Hengyi plans polymer, petchem units in Brunei expansion; 2021. Disponível em: <<https://www.argusmedia.com/en/news/2185150-hengyi-plans-polymer-petchem-units-in-brunei-expansion>>. Acesso em: 30 abr. 2021.

BORSCHIVER, S.; REALPE, C.; COUTO, M. A. G.; COELHO, K. Prospecção Tecnológica De Combustível Renovável Para Aviação: Estudo De Caso Do Diesel Verde; Cadernos de Prospecção – UFBA, vol. 10, n. 2, p. 263-272; Brasil; 2017.

BRELSFORD, R. Hengyi lets contract for aromatics expansion at Brunei complex. Oil & Gas Journal, fev. 2021. Disponível em: <<https://www.ogj.com/refining-processing/petrochemicals/article/14198324/hengyi-lets-contract-for-aromatics-expansion-at-brunei-complex>>. Acesso em: 30 abr. 2021.

CHANG, R.J. Crude oil to chemicals - Industry development and strategic implications; IHS Markit, Houston, Texas, EUA; 2018. Disponível em: <<https://cdn.ihs.com/www/pdf/IHSM-Chang-Crudetochemicals.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2021.

DELGADO, F.; GAUTO, M. Petróleo: Qualidade Físico-Químicas, Preços e Mercados. FGV Energia, Rio de Janeiro, janeiro 2021. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/30199/manual_petroleo_qualidade-fq_precos_e_mercados_jan_21_aprovado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 16 mai. 2021.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia 2030; Ministério de Minas e Energia; 2021.

EPO. Espacenet patent search; Disponível em: <<https://www.epo.org/searching-for-patents/technical/espacenet.html>>. Acesso em 05 mar. 2021.

FUTURE BRIDGE, Crude Oil-to-Chemicals: Future of Refinery; 2019. Disponível em: <<https://www.futurebridge.com/blog/crude-oil-to-chemicals-future-of-refinery/>>. Acesso em: 28 abr. 2021.

HENGYI, We Are Hengyi. *About Us*. Disponível em: <<https://www.hengyi-industries.com/about-us/>>. Acesso em: 29 abr. 2021.

IEA, International Energy Agency. The future of Petrochemicals: Towards more sustainable plastics and fertilizers; 2018.

IHS MARKIT, Crude Oil to p-Xylene — Shenghong Refinery-PX Complex; *Process Economics Program*; 2020. Disponível em: <<https://ihsmarkit.com/products/pep-303c-crude-oil-pXylene-shenghong-refinery-px-complex.html>>. Acesso em: 30 abr. 2021.

IHS MARKIT, Crude Oil to P-Xylene – Zhejiang Refinery-PX Complex; *Process Economics Program*; 2019. Disponível em: <<https://chemweek.com/CW/Document/107708/Crude-oiltochemicals-A-game-changer-for-the-chemical-industry>>. Acesso em: 28 abr. 2021.

JOHNSON, D.; CHANG, R. J., Crude oil-to-chemicals projects presage a new era in global petrochemical industry; IHS Markit; ago. 2018. Disponível em:

<<https://ihsmarkit.com/research-analysis/crudeoil-chemicals-projects.html>>. Acesso em: 28 abr. 2021.

JOHNSON, J. A. Aromatics Complexes. *In*: MEYERS, R. A. Handbook of petroleum refining processes. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2004.

MAZIN, A. P. R. A Integração Refino-Petroquímica Visando À Produção De Aromáticos No Brasil Sob A Ótica Da Prospecção Tecnológica; Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2014.

MCQUE, K. Saudi Aramco, SABIC to reassess plans for Yanbu crude to chemicals complex; S&P Global, 2020. Disponível em: <<https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/electric-power/101820-saudi-aramco-sabic-to-reassess-plans-for-yanbu-crude-to-chemicals-complex>>. Acesso em: 15 abr. 2021.

REUTERS Saudi Aramco and SABIC reassess crude-oil-to-chemicals project; 2020. Disponível em: <<https://www.reuters.com/article/saudi-aramco-sabic-project-int-idUSKBN2730OB>>. Acesso em 15 abr. 2021.

SCOPUS. Advanced Search; Disponível em: <<https://www.scopus.com/search/form.uri?display=advanced>>. Acesso em 05 mar. 2021.

SANTOS, P. C.; LEITE, L. F.; SEIDL, P. R.; BORSCHIVER, S. Integração Refino-Petroquímica: tendências e impactos, Publit Soluções Editoriais, Rio de Janeiro, 2012

THOMAS, M. Crude oil-to-chemicals: A game changer for the chemical industry; Chemical Week; nov. 2019. Disponível em: <<https://chemweek.com/CW/Document/107708/Crude-oiltochemicals-A-game-changer-for-the-chemical-industry>>. Acesso em: 28 abr. 2021.