

12º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

TRANSPORTE, REFINO E PROCESSAMENTO DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL: UM LEVANTAMENTO BIBLIOMÉTRICO E PATENTOMÉTRICO

AUTORES:

Lyzette Gonçalves Moraes de Moura¹, Wendell Ferreira De La Salles²

INSTITUIÇÃO:

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, ²Departamento de Tecnologia Química, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão

TRANSPORTE, REFINO E PROCESSAMENTO DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL: UM LEVANTAMENTO BIBLIOMÉTRICO E PATENTOMÉTRICO

Resumo

A indústria de petróleo e gás natural sempre esteve concentrada no crescimento da produção para abastecimento de mercados, mas questões relacionadas aos impactos ambientais têm se destacado e há um esforço crescente das empresas para minimizar esses efeitos, trazendo evidências no processo de tomada de decisão sobre projetos e operações com alto teor de carbono, além de auxiliar as empresas a seguirem a direção ambientalmente correta. Neste estudo, foram avaliados artigos científicos e depósitos de patentes, utilizando as palavras-chave em inglês “crude oil”, “petroleum”, “natural gas”, “transport”, “refining”, “processing” e seus derivados, obtidos das bases “Web of Science” e “The Lens”, respectivamente. Diversos conceitos são abordados nos artigos, desde a bioquímica e biofísica molecular, a conceitos de farmacognosia e modelos e simulações computacionais, indicando que esses trabalhos estão sendo conduzidos de modo inter e multidisciplinar, buscando novos materiais, processos e técnicas para melhorar a eficiência e reduzir custos. A busca tecnológica indicou que tecnologias que visam a processos mais eficientes e de menor custo têm se destacado, sobretudo quando combinadas a desenvolvimentos que auxiliam nas reduções de emissões de GEE e contribuem para o cenário de baixas emissões.

Palavras-chave: indústria do petróleo, indústria do gás natural, inovação, tecnologia.

Abstract

The oil and natural gas industry have always focused on increasing production to supply markets, but issues related to environmental impacts have become increasingly important and there is a growing effort by companies to minimize these effects, bringing evidence into the decision-making process about projects and operations with high carbon content, in addition to helping companies follow the environmentally correct direction. In this study, scientific articles and patent applications were evaluated, using the keywords in English “crude oil”, “petroleum”, “natural gas”, “transport”, “refining”, “processing” and their derivatives, obtained from the “Web of Science” and “The Lens” databases, respectively. Several concepts are addressed in the articles, from biochemistry and molecular biophysics, to concepts of pharmacognosy and computational models and simulations, indicating that these works are being conducted in an inter and multidisciplinary manner, seeking new materials, processes and techniques to improve efficiency and reduce costs. The technological search indicated that technologies that aim at more efficient and lower cost processes have stood out, especially when combined with developments that help reduce GHG emissions and contribute to the low emissions scenario.

Keywords: oil industry, natural gas industry, innovation, technology.

Introdução

A indústria de petróleo e gás natural tem passado por profundas mudanças, particularmente nas últimas décadas. Este setor sempre esteve mais concentrado no crescimento da produção com foco em abastecer

mercados e alimentar a competição dos países e empresas privadas para acesso às reservas. Atualmente, contudo, novas tecnologias estão proporcionando oportunidades para se explorar fontes de energia renováveis, que trazem diversas vantagens, sobretudo em relação ao ambiente.

Não obstante, o setor de petróleo e gás natural continuará sendo de extrema importância para a economia dos países, sobretudo pela dependência da indústria petroquímica. Por outro lado, questões relacionadas aos impactos ambientais estão sendo consideradas e há um esforço crescente para minimizar esses efeitos, estimuladas pela indústria de seguros, que desempenha um papel relevante na análise de riscos, trazendo evidências no processo de tomada de decisão sobre projetos e operações com alto teor de carbono, além de auxiliar as empresas a seguirem a direção ambientalmente correta.

Este estudo foi inicialmente desenvolvido como uma seção de uma “Pesquisa sobre Tendências Tecnológicas no Setor de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis” e trata, especificamente, de um levantamento relacionado às etapas de transporte, refino e processamento do petróleo e do gás natural. Neste trabalho são apresentadas e discutidas apenas as áreas/ênfases dos documentos avaliados, destacando os aspectos que têm despertado maior interesse tanto em pesquisas acadêmicas, quanto em propostas de inovação, e, portanto, podem ser considerados indicadores de demandas significativas do setor, considerando-se o desenvolvimento tecnológico e econômico em um contexto de preocupação ambiental e sustentabilidade.

Metodologia

A prospecção científica e tecnológica tem sido realizada ao longo dos últimos 3 anos, contudo, os resultados ora apresentados foram compilados e revisados em julho de 2024. Têm sido utilizadas bases de dados selecionadas devido à sua abrangência em termos de número de documentos e de período de tempo, bem como à disponibilidade gratuita de ferramentas de análise de fácil aplicação.

O levantamento dos documentos acadêmicos de acesso restrito foi executado na base *Web of Science*, escolhida devido ao maior direcionamento de material pertinente e às possibilidades de filtragem e análises. Foram considerados apenas documentos do tipo “artigo”.

A busca de patente foi realizada a partir da ferramenta independente de pesquisa *The Lens*, também considerada suficiente para avaliação do perfil de inovações tecnológicas no setor, uma vez que disponibiliza documentos depositados em diversos escritórios e instituições de todo o mundo, como o “Instituto Nacional da Propriedade Industrial” (INPI), *World Intellectual Property Organization* (WIPO) e *European Patent Office* (EPO), entre outros.

Em ambos os casos, foi delimitado o período de 30/06/2019 a 30/06/2024, os últimos 5 anos, considerado apropriado para o delineamento de perfil de desenvolvimentos no setor proposto.

Foram utilizadas buscas avançadas considerando os campos título, resumo e palavras-chave (em inglês: *title, abstract, keywords*), no caso dos artigos científicos e título, resumo e descrição (em inglês: *title, abstract, claims*), para os depósitos de patente. Foram consideradas adequadas e suficientes as palavras-chave *crude oil, petroleum* e *natural gas* associadas individualmente aos termos *transport, refining* e *processing*, combinados através de parênteses e dos operadores booleanos *AND* e *OR*; também foram considerados termos derivados truncando-se os radicais com o símbolo asterisco (*). Foram empregados apenas termos em inglês para assegurar a maior abrangência da pesquisa.

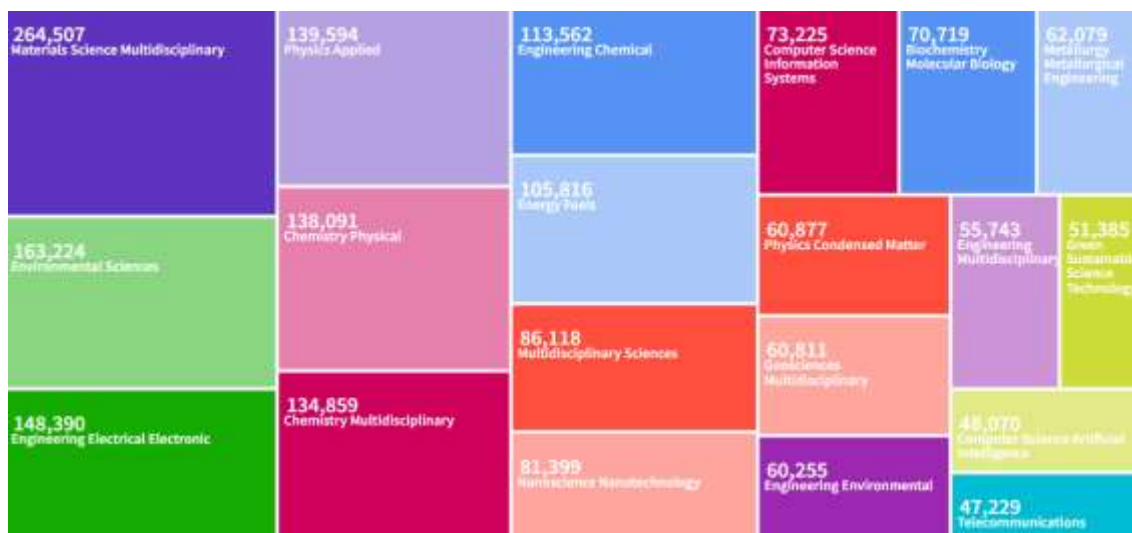
Os resultados obtidos foram avaliados a partir das ferramentas de análise disponíveis nos próprios sítios de busca.

Resultados e Discussão

O levantamento de textos científicos revelou pouco mais de 2.400.000 artigos, dos quais, aproximadamente, 75.000 apresentam, pelo menos, um autor com afiliação no Brasil, o que representa pouco mais 3%.

Diversos estudos são dirigidos à garantia de escoamento, o que faz sentido, já que esta é uma condição essencial à eficiência do transporte desses fluidos. Têm destaque no setor estudos reológicos (Souas *et al.*, 2020), desenvolvimento de aditivos/inibidores para evitar/minimizar a precipitação de frações pesadas (Kolotova *et al.*, 2020) ou formação de emulsões (Abdulredha *et al.*, 2020) e proposição de novos materiais para fabricação ou recobrimento da superfície interna de tubulações, assim como os aspectos ambientais de cada uma dessas vertentes (Fayomi *et al.*, 2020). Na Figura 01 consta a lista das 20 principais grandes áreas às quais os artigos identificados se enquadram.

Figura 01 – Principais áreas abordadas nos artigos científicos publicados no período de 2019-2024 sobre transporte, refino e processamento de petróleo e gás natural na base “Web of Science”.



Fonte: Web of Science, 2024.

Como pode ser observado na Figura 01, diversos conceitos são abordados nos artigos, desde a bioquímica e biofísica molecular, passando por conceitos de farmacognosia e modelos e simulações computacionais. Esse resultado indica que profissionais de diversas áreas estão envolvidos nesses estudos, buscando novos materiais, processos e técnicas para melhorar a eficiência e reduzir os custos.

Quando considerados somente os trabalhos de autores com afiliação no país, mantém-se a prevalência de pesquisas desenvolvidas nas universidades públicas, indicando que estas, apesar dos grandes desafios econômicos, seguem como principais promotoras de novas tecnologias e divulgação destas e de novos desenvolvimentos nos diversos setores relacionados à energia no país.

A busca tecnológica com foco no gás natural, resultou em 13.432 documentos, sendo que o número de patentes publicadas tem se mantido relativamente constante no período, entre 2.500 e 3.000. Não foram

identificados depósitos com jurisdição no país, contudo, entre os países proprietários, o Brasil aparece em 16º lugar, com 11 patentes, enquanto a China, 1ª colocada, possui 195 patentes.

Como seria esperado, a classificação de acordo com a CPC (em português “Classificação de Cooperação de Patentes”) foi bastante diversificada e diferenciada, assim como os estudos acadêmicos apresentados anteriormente (Figura 01). Pode ser observado na Figura 02(a), a seção F (“Engenharia Mecânica; Iluminação; Aquecimento; Armas; Explosão”), mais especificamente a classe F25, apresentou maior número de registros e engloba inovações relacionadas à “Refrigeração ou resfriamento; Sistemas combinados de aquecimento e refrigeração; Sistemas de bombas de calor; Fabricação ou armazenagem de gelo; Solidificação de gases por liquefação”, indicando que a maturação do setor tem suscitado maiores inovações visando à otimização de processos de obtenção de Gás Natural Liquefeito (GNL, ou LNG, do inglês *Liquefied Natural Gas*), como é o caso de uma patente da “Shell Int Research” (Raghuraman *et al.*, 2023), relacionada a uma produção mais eficiente de gás natural liquefeito. Outra abordagem que tem se destacado mais recentemente em relação ao GNL tem sido o tratamento, particularmente para adequação às especificações de transferência e transporte, como uma patente da “ExxonMobil Upstream Research Company” (Kenefake; Tatarzyn; Ahmed, 2023).

Também foram observados, no âmbito dessa classificação, depósitos relacionados à produção otimizada de gás de síntese (Raffaele; Frederick; Ermanno, 2020) e biogás (Patrick Jr.; John, 2020), com proposição de processos mais ambientalmente amigáveis, ênfase também identificada em outras tecnologias voltadas ao uso de recursos biológicos para tratamento do petróleo (e derivados) e do gás natural, como a patente de Rainer (2020), que propõe o uso de espécies de plantas para a redução do teor de enxofre nesses produtos.

Convém destacar, também, patentes voltadas para exploração, transporte e aproveitamento do gás natural proveniente de hidratos sólidos (clatratos), que são considerados uma potencial fonte sustentável de gás natural (Xuezheng; Dayong; Yujing, 2024), embora as tecnologias relacionadas ainda não estejam em um nível de maturação comercial e muitos estudos relacionados a possíveis impactos ambientais negativos ainda sejam necessários.

Como ainda pode ser observado na Figura 02(a), também se destaca a classe Y02, da seção Y, que, em síntese, está relacionada a desenvolvimentos tecnológicos transversais em geral e que complementam as classificações das outras seções, referentes à área específica da inovação. A classe Y02 se refere a “Tecnologias para mitigação ou adaptação contra mudanças climáticas”, como é o caso da patente de Weston (2024), da “Exxonmobil Technology & Engineering Company”.

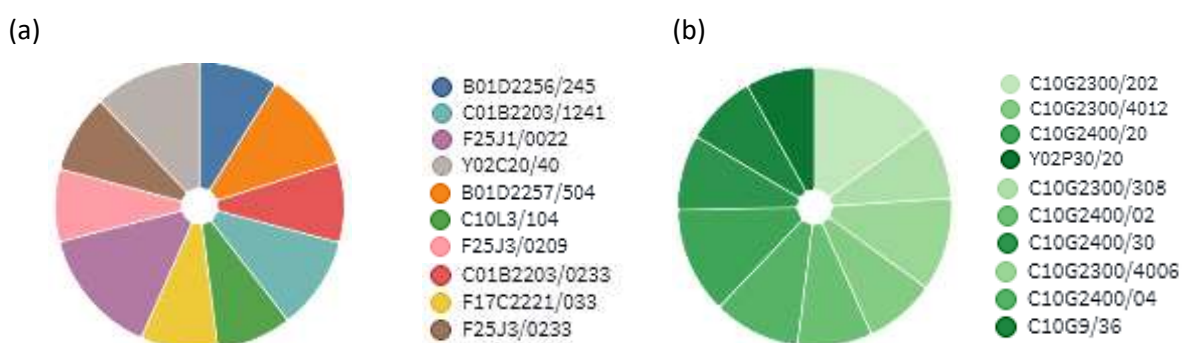
Destacam-se, além dessa, as classes C01 (Química Inorgânica), relacionada ao uso de catalisadores e adsorventes, e B01 (Processos Físicos ou Químicos ou Equipamentos em Geral), que se correlaciona às classes Y02 e C01, dentre outras. Contudo, tomando as 10 classificações CPC com maior número de representantes, não houve uma variação muito significativa, indicando que tem ocorrido relevante preocupação tanto em relação à otimização de processos de obtenção e purificação, quanto à combinação desses com aspectos ambientais.

O levantamento tecnológico com ênfase no petróleo indicou um número um pouco maior de documentos, 18.413. Estados Unidos da América (EUA) e China são as principais jurisdições e, novamente, não foram observados registros com jurisdição no Brasil. Em relação ao país proprietário, porém, a Arábia Saudita se destaca em 1º lugar, com 557 patentes, enquanto o 2º lugar cabe à China, com 293 depósitos. Brasil e Dinamarca ocupam o 14º lugar, com 25 depósitos.

Em relação à CPC (Figura 02(b)), a maioria absoluta das patentes se enquadra, evidentemente, na classe C10 (Indústrias de Petróleo, Gás ou Coque; Gases técnicos contendo monóxido de carbono; Combustíveis; Lubrificantes; Turfa), seguida pela Y02, comum nas patentes mais relacionadas ao Gás Natural. O grupo C10G2300 se refere ao processamento de hidrocarbonetos, enquanto o C10G2400 está relacionado aos produtos decorrentes desse processamento, como a patente de Essam *et al.* (2020).

Por outro lado, quando se verifica a classificação das patentes que têm o Brasil como proprietário, tem-se destaque na classe B01 (Processos Físicos ou Químicos ou Equipamentos em Geral), mais especificamente, o grupo B01J, relacionado a catalisadores e química coloidal, e na classe C01 (Química Inorgânica), grupo C01B (Elementos não metálicos e seus compostos), como as patentes de Ferraz *et al.* (2023), da Petrobras.

Figura 02 – Seções/classes CPC de maior ocorrência de pedidos de patente sobre transporte, refino e processamento de (a) gás natural e (b) petróleo obtidas pela ferramenta “The Lens”, no período de 2019-2024.



Fonte: The Lens, 2024.

Ainda foram identificadas diversas patentes voltadas para a garantia de escoamento pela inclusão de aditivos em geral e agentes emulsificantes (Issa *et al.*, 2020), além de inovações relacionadas à compatibilidade de misturas e seu processamento otimizado (Kumar *et al.*, 2019).

Todavia, discussões mais profundas concernentes a origens, tais como nacionalidade dos autores/inventores/proprietários, natureza de instituições envolvidas, evolução histórica e outras especificidades estão sendo executadas e os dados serão tabulados e avaliados para desenvolvimento de trabalhos futuros.

Conclusões

O setor de petróleo e gás natural tem passado por grandes mudanças e os estudos relacionados ao downstream, que abrange os setores de refino, processamento e transporte, estão se adaptando às demandas socioambientais globais.

Nesse sentido, as tecnologias que visam a processos mais eficientes e de menor custo têm se destacado, sobretudo quando combinadas a desenvolvimentos que contribuem para as reduções de emissões de gases de efeito estufa e estimulam um cenário de baixas emissões.

Neste estudo verificou-se que a garantia de escoamento é um dos principais aspectos investigados, tanto nos artigos científicos, quanto nos depósitos de patente, sendo este um fator determinante na área.

Nos próximos anos, espera-se o desenvolvimento de aditivos e inibidores ambientalmente amigáveis que atuem evitando a precipitação de frações pesadas e formação de emulsões, com a opção pela proposição de novas formulações ou adequação das tradicionais para minimizar os efeitos negativos no ambiente.

Também são esperadas tecnologias que possibilitem a otimização dos processos de liquefação de gás natural, obtenção de gás de síntese, biogás e, ainda, recuperação de gás natural proveniente de clatratos.

Tais desenvolvimentos poderão ser decisivos para o setor, atraindo investimentos diversos, além do estímulo a programas que promovam e estimulem a formação de recursos humanos capacitados para o atendimento às novas demandas e criação de novos programas e, mesmo, políticas públicas, que viabilizem a continuidade dos trabalhos incipientes e sua futura comercialização.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) por meio do Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP para o Setor Petróleo e Gás - PRH/ANP (PRH 54.1 - UFMA).

Referências Bibliográficas

ABDULREDHA, M. M. *et al.* Overview on petroleum emulsions, formation, influence and demulsification treatment techniques. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 13, p. 3403-3428, 2020.

DOI: 10.1016/j.arabjc.2018.11.014. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez14.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S1878535218302442?via%3Dihub>.

Acesso em: 31 jul. 2024.

ESSAM, E.-A. *et al.* **Systems and processes for conversion of crude oil**. Depositante: Saudi Arabian Oil Company. US 10689587 B2, Concessão: 23 Jun. 2020. Disponível em:

<https://www.lens.org/lens/patent/162-979-154-574-49X/fulltext?l=en>. Acesso em: 31 jul. 2024.

FAYOMI, O. S. I. *et al.* Assessment of API pipeline steel surface and its environmental vulnerability.

International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability (TMREES), v. 2307, 2020. DOI: 10.1063/5.0033735. Disponível em: <https://aip-scitation-org.ez14.periodicos.capes.gov.br/doi/abs/10.1063/5.0033735>. Acesso em: 31 jul. 2024.

FERRAZ, W. S. *et al.* **Process for gasification of a carbonaceous raw material of low value as a fuel using a nanocatalyst**. Depositante: Petróleo Brasileiro SA – Petrobras. US11697107B2,

Concessão: 11 Jul. 2023. Disponível em: <https://www.lens.org/lens/patent/169-583-398-078-437/fulltext?l=en>. Acesso em: 31 jul. 2024.

ISSA, I. A. *et al.* **Amphiphilic asphaltene ionic liquids as demulsifiers for heavy petroleum crude oil-water emulsions**. Depositante: King Abdulaziz University. US10767119B1, Concessão: 8 Sep.

2020. Disponível em: <https://www.lens.org/lens/patent/099-432-362-472-410/fulltext?l=en>. Acesso em: 31 jul. 2024.

KENEFAKE, D. A.; TATARZYN, J.; AHMED, W. H. **Methods for removal of moisture from LNG refrigerant**. Depositante: ExxonMobil Upstream Research Company. US11668524B2, Concessão: 6 Jun. 2023. Disponível em: <https://www.lens.org/lens/patent/015-934-969-303-720/fulltext>. Acesso em: 31 jul. 2024.

KOLOTOVA, D. S. *et al.* Evaluation of anti-agglomerate hydrate inhibitor in water-in-crude oil emulsions of different water cut. **Petroleum Science and Technology**, v. 38, p. 922-928. DOI: 10.1080/10916466.2020.1796702. Disponível em: <https://www-tandfonline.ez14.periodicos.capes.gov.br/doi/abs/10.1080/10916466.2020.1796702?journalCode=lpet20>. Acesso em: 31 jul. 2024.

KUMAR, R. *et al.* **Prediction of crude oil blend compatibility and blend optimization for increasing heavy oil processing**. Depositante: Indian Institute of Technology Delhi; Bharat Petroleum Corporation Limited. US10365263B1, Concessão: 30 Jul. 2019. Disponível em: <https://www.lens.org/lens/patent/002-530-266-638-791/fulltext?l=en>. Acesso em: 31 jul. 2024.

PATRICK JR., F.; JOHN, D. **Method and system for upgrading biogas**. Depositante: Iogen Corp. WO2020/010431A1, Publicação: 16 Jan. 2020. Disponível em: <https://www.lens.org/lens/patent/056-581-027-428-630/fulltext>. Acesso em: 31 jul. 2024.

RAFFAELE, O.; FREDERICK, S. G.; ERMANN, F. **Process for producing a synthesis gas**. Depositante: Casale As. US10669154B2, Concessão: 2 Jun. 2020. Disponível em: <https://www.lens.org/lens/patent/143-582-624-700-979/frontpage?l=en>. Acesso em: 31 jul. 2024.

RAGHURAMAN, P. *et al.* **Method and system for production optimization**. Depositante: Shell Int Research. AU2021/225308B2, Concessão: 30 Nov. 2023. Disponível em: <https://www.lens.org/lens/patent/065-449-085-970-709/frontpage?l=en>. Acesso em: 31 jul. 2024.

RAINER, T. **A method for treating petroleum or natural gas**. Depositante: Tesch Rainer. EP3587537A1, Publicação: 1 Jan. 2020. Disponível em: <https://www.lens.org/lens/patent/023-514-681-047-640/fulltext?l=en>. Acesso em: 31 jul. 2024.

SOUAS, F. *et al.* On the rheological behavior of light crude oil: a review. **Petroleum Science and Technology**, v. 38, p. 849-857, 2020. DOI: 10.1080/10916466.2020.1789166. Disponível em: <https://www-tandfonline.ez14.periodicos.capes.gov.br/doi/abs/10.1080/10916466.2020.1789166?journalCode=lpet20>. Acesso em: 31 jul. 2024.

THE LENS. Disponível em: <https://www.lens.org/>. Acesso em: 31 jul. 2024.

WEB OF SCIENCE. Disponível em: <https://www-webofscience-com.ez14.periodicos.capes.gov.br/wos/woscc/basic-search>. Acesso em: 31 jul. 2024.

WESTON, S. C. **Metal-organic frameworks for carbon dioxide capture**. Depositante: Exxonmobil Technology & Engineering Company. US 11872537 B2, Concessão: 16 Jan. 2024. Disponível em: <https://www.lens.org/lens/patent/198-293-910-739-828/fulltext?l=en>. Acesso em: 31 jul. 2024.

XUEZHEN, W.; DAYONG, L.; YUJING, J. **Suction cylinder exploitation device and method for marine natural gas hydrates**. Depositante: University Fu Zhou. US2023/0304383A1, Concessão: 21 May. 2024. Disponível em: <https://www.lens.org/lens/patent/139-484-051-076-625/fulltext?l=en>. Acesso em: 31 jul. 2024.