

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MULTI-INSTITUCIONAL
EM DIFUSÃO DO CONHECIMENTO**

LÍVIA SANTOS SIMÕES

**PANORAMA DA TECNOLOGIA MEOR:
ESTRATÉGIAS PARA DIFUSÃO DA INOVAÇÃO
NO SETOR DO PETRÓLEO**

Salvador
2022



LÍVIA SANTOS SIMÕES

**PANORAMA DA TECNOLOGIA MEOR:
ESTRATÉGIAS PARA DIFUSÃO DA INOVAÇÃO
NO SETOR DO PETRÓLEO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação Multi-Institucional em Difusão do Conhecimento, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Difusão do Conhecimento.

Área de Concentração: Modelagem da Geração e Difusão do Conhecimento.

Linha 2 – Difusão do Conhecimento: Informação, Comunicação e Gestão.

Orientador: Prof. Dr. Elias Ramos de Souza

Co-orientadora: Prof^ª. Dra. Ana Maria Ferreira Menezes

Salvador
2022

Simões, Livia Santos.

Panorama da tecnologia MEOR : estratégias para difusão da inovação no setor do petróleo / Livia Santos Simões. - 2022.

180 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Elias Ramos de Souza.

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Ana Maria Ferreira Menezes.

Tese (Doutorado em Difusão do Conhecimento) - Programa de Doutorado Multi-Institucional e Multidisciplinar em Difusão do Conhecimento, Salvador, 2022.

1. Microbial enhanced oil recovery. 2. Difusão de inovações. 3. Meio ambiente. 4. Redes complexas - Análise. 5. Redes sociais - Análise. I. Souza, Elias Ramos de. II. Menezes, Ana Maria Ferreira. III. Programa de Doutorado Multi-Institucional e Multidisciplinar em Difusão do Conhecimento. IV. Título.

LÍVIA SANTOS SIMÕES

**PANORAMA DA TECNOLOGIA MEOR:
ESTRATÉGIAS PARA DIFUSÃO DA INOVAÇÃO
NO SETOR DO PETRÓLEO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação Multi-institucional em Difusão do Conhecimento, na Área de Concentração Modelagem da Geração e Difusão do Conhecimento, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Difusão do Conhecimento à seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. Elias Ramos de Souza (orientador)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA/PPGDC/DMMDC)

Profa. Dra. Ana Maria Ferreira Menezes (co-orientadora)
Universidade do Estado da Bahia (UNEB/PPGDC/DMMDC)

Prof. Dr. Antônio Carlos dos Santos Souza
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA/PPGDC/DMMDC)

Prof. Dr. Hernane Borges de Barros Pereira
Universidade do Estado da Bahia (UNEB/PPGDC/DMMDC)

Prof. Dr. André Garcez Ghirardi
Universidade Federal da Bahia

Profa. Dra. Núbia Moura Ribeiro
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia

Resultado:

Salvador, 24 de novembro de 2022

Dedico os méritos alcançados
com a realização desse trabalho
ao benefício de todos os seres.

(Dedicação Budista)

AGRADECIMENTOS

A vida ocorre em redes, umas sustentam outras em um robusto sistema de existência e movimento. Agradeço com reverência àqueles que deram origem à minha vida e seguem apoiando as minhas realizações, inclusive a dessa pesquisa: Deus, Nossa Senhora e a meus pais José e Rosaná, com amor.

Agradeço com reconhecimento ao meu orientador e a minha co-orientadora que facilitaram a minha experiência de doutoramento. Ao Prof. Elias Ramos pela competência e gentileza com as quais indicou possibilidades que qualificaram essa pesquisa e a Profa. Ana Menezes pela confiança no meu trabalho e disponibilidade sempre.

Agradeço à rede de instituições que deram suporte para a realização desse trabalho: ao IFBA por ter possibilitado tempo para dedicação à pesquisa; a UFBA e todas as instituições envolvidas com o DMMDC. Um agradecimento especial aos fundadores do DMMDC pela iniciativa, e, aos professores, funcionários e todos que sustentam a proposta de formação desse programa. Agradeço a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e a PETROGAL Brasil S/A o apoio associado ao investimento de recursos oriundos das cláusulas de investimentos em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.

Agradeço com alegria à rede dos colegas e amigos que tornaram a experiência do doutoramento prazerosa e mais leve, em especial a Julia, Simone e Soltan, obrigada pela presença.

Agradeço com afeto à rede dos amigos que respeitaram o tempo de afastamento necessário para a geração desse trabalho e de algum modo se fizeram sempre presente: Arlúcia, Diana, Gil, Ale, Amana, Rosana, Daniel, Paulo, Haroldo, aos grupos do Polo e Inovação, do Renascimento e todos vocês que não nomeei aqui.

Um agradecimento especial aos membros das bancas de qualificação e de defesa de tese por terem se disponibilizado a olhar para essa pesquisa e contribuir com o seu aperfeiçoamento: Prof^a. Cristina Quintela, Prof^a. Núbia Ribeiro, Prof. Manoel, Prof. Antônio Carlos, Prof. André Ghirardi e Prof. Hernane Pereira.

Um agradecimento particular a Monica Daltro que me ajudou a compreender que não se tratava unicamente de escrever uma tese, mas de uma experiência de doutoramento.

Por fim, agradeço a todas as experiências e a todas as pessoas que contribuíram de algum modo para que eu chegasse até aqui.

Na existência, devemos conquistar aquilo que pertence à nossa essência. Justamente, só podemos formar noções comuns, mesmo as mais gerais, se encontrarmos um ponto de partida nas paixões alegres que aumentam primeiramente nossa potência de agir”

*Deleuze, 2017
Espinosa e o Problema da Expressão, p. 214*

SIMÕES, Livia Santos. **Panorama da Tecnologia MEOR: Estratégias para Difusão da Inovação no Setor do Petróleo**. Orientador: Elias Ramos de Souza. 2022. 180 f. il. Tese (Doutorado em Difusão do Conhecimento) – Faculdade de Educação, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2022.

RESUMO

O uso da pesquisa exploratória e descritiva, de abordagem quali-quantitativa, visou identificar estratégias que favorecessem a transferência para a indústria de tecnologias de recuperação avançada de petróleo por ação microbiana (MEOR) geradas em ambientes interativos (ICT-Empresa). Foram utilizados referenciais teóricos nas seguintes áreas do conhecimento: meio ambiente, petróleo, inovação, gestão do conhecimento e ciência das redes, fundamentais para a análise e conclusão adequadas sobre os dados obtidos na pesquisa. A interface da indústria do petróleo com o meio ambiente foi entremeada pelos padrões da matriz energética mundial, que continua fortemente centrada na utilização do petróleo, apesar do consumo das energias renováveis ter aumentado nos últimos anos. A exploração do petróleo e a utilização de combustíveis fósseis resultam na geração de importante volume de água produzida, além da emissão de dióxido de carbono (CO₂), configurando-se assim a urgência em encontrar formas de conciliar o uso do petróleo com o imperativo ambiental. Respostas positivas têm surgido com o desenvolvimento de novas tecnologias, com destaque para a MEOR que proporciona ganhos econômicos, relativas ao aumento da eficiência na exploração do petróleo, e ambientais, com redução das emissões CO₂ e da proporção de água produzida. A indústria do petróleo é intensiva em capital e em tecnologia, portanto, a difusão de inovações nesse setor deve considerar a complexidade das suas cadeias de produção. Grandes empresas internacionais, operadores e fornecedores atuam em conjunto ao lado de universidades e instituições de pesquisa que podem agir como desenvolvedores de tecnologias demandadas pela indústria. A inovação, como fator de desenvolvimento econômico, potencializa a competitividade das organizações e países. É um processo realizado por atores diversos que operam em interação com o ambiente externo num ciclo composto por etapas distintas relativas à pesquisa, ao desenvolvimento e à difusão, resultando em novos produtos, serviços e processos. Para investigar a dinâmica da evolução da inovação em tecnologias MEOR no setor do petróleo, aplicou-se a análise de redes sociais e complexas em uma amostra composta por 208 patentes para, a partir do mapeamento dos inventores, titulares e escritórios patentários, descrever os atores importantes no processo de inovação MEOR, esclarecendo a relação entre as patentes MEOR e os países. Complementarmente realizou-se o estudo do projeto Petrogal-IFBA-UFBA, um caso de geração de tecnologia MEOR em ambiente interativo ICT-Empresa, realizado no Brasil. Percebeu-se a resistência da indústria em incorporar as tecnologias MEOR, apesar da efetividade comprovada em testes de campo realizados ao redor do mundo; o papel das parcerias entre ICTs e empresas na viabilização do processo de inovação e transferência das tecnologias MEOR e; a importância da realização de testes de campo, com a publicação das estratégias e resultados. Por fim, foram identificadas e analisadas estratégias que favorecem a transferência para a indústria de inovações MEOR geradas em ambientes interativos (ICT-Empresa), o que foi inicialmente definido como objetivo desta pesquisa.

Palavras-chave: Microbial enhanced oil recovery. Difusão de inovações. Meio ambiente. Redes complexas - Análise. Redes sociais - Análise.

SIMÕES, Livia Santos. **Panorama da Tecnologia MEOR: Estratégias para Difusão da Inovação no Setor do Petróleo.** Orientador: Elias Ramos de Souza. 2022. 180 f. il. Tese (Doutorado em Difusão do Conhecimento) – Faculdade de Educação, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2022.

ABSTRACT

The exploratory and descriptive research, of quali-quantitative approach, aimed to identify strategies that favor the transfer, to the industry, of technologies for microbial enhanced oil recovery (MEOR), generated in interactive environments (ICT-Company). Theoretical references in the following areas of knowledge are used: environment, petroleum, innovation, knowledge management, and network science, which were fundamental for the appropriate analysis and conclusion about the data obtained in the research. The interface of the oil industry with the environment is interwoven by the patterns of the world energy matrix, which remains heavily centered on the use of oil, despite the fact that the consumption of renewable energy has increased in recent years. Oil exploration and the use of fossil fuels result in the generation of an important volume of produced water, besides the emission of carbon dioxide (CO₂), thus configuring the urgency to find ways to reconcile the use of oil with the environmental imperative. Positive responses have emerged with the development of new technologies, especially MEOR, which provides economic gains, related to increased efficiency in oil exploration, and environmental gains, with the reduction of CO₂ emissions and the proportion of produced water. The petroleum industry is capital and technology intensive, so the diffusion of innovations in this sector must consider the complexity of its production chains. Large international companies, operators, and suppliers act together, alongside universities and research institutions that can act as developers of technologies demanded by the industry. Innovation as a factor in economic development enhances the competitiveness of organizations and countries. It is a process carried out by various actors who operate in interaction with the external environment, in a cycle consisting of distinct stages related to research, development and diffusion, resulting in new products, services and processes. To investigate the dynamics of the evolution of innovation in MEOR technologies in the petroleum sector, the network science was applied to the sample composed of 208 patents in order to, from the mapping of inventors, holders and patent offices, describe the important actors in the process of MEOR innovation, clarifying the relationship between MEOR patents and countries. Complementarily, the Petrogal-IFBA-UFBA project, a case of MEOR technology generation in an interactive ICT-Company environment, carried out in Brazil, was studied. As results, it was perceived the resistance of the industry to incorporate the MEOR technologies, despite the proven effectiveness in field tests conducted around the world; the role of partnerships between ICTs and companies in enabling the process of innovation and transfer of MEOR technologies and; the importance of conducting field tests, with the publication of strategies and results. Finally, strategies that favor the transfer to industry of MEOR innovations generated in interactive environments (ICT-Company) were identified and analyzed, which was initially defined as an objective of this research.

Keywords: Microbial enhanced oil recovery. Diffusion of innovations. Environment. Complex networks - Analysis. Social networks - Analysis.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. INOVAÇÃO EM TECNOLOGIAS MEOR.....	20
2.1 Meio Ambiente, Transição Energética e Petróleo.....	21
2.1.1 Os Avanços das Conferências das Partes e a Indústria do Petróleo	22
2.1.2 Matriz Energética e Emissões de CO ₂	26
2.1.3 Estratégia Empresarial Ambiental	30
2.2 Inovação em Tecnologias MEOR	32
2.2.1 A Indústria do Petróleo frente à Transição Energética.....	35
2.2.2 Recuperação Avançada de Petróleo por Ação Microbiana (MEOR).....	44
2.2.2.1 Componentes, Métodos e Produtos da MEOR.....	46
2.2.2.2 Aplicações da Tecnologia MEOR em Campos de Petróleo.....	51
2.2.3 Difusão do Conhecimento, Transferência de Tecnologia e Inovação.....	57
2.2.3.1 Hélice Tríplice, Sistemas de Inovação e Trajetórias Tecnológicas	59
2.2.3.2 Gestão do Conhecimento, Propriedade Intelectual e Inovação.....	66
3. APROXIMAÇÃO TEÓRICA À CIENCIA DAS REDES	72
3.1 Tipos de Rede.....	73
3.2 Índices de Redes Sociais e Complexas.....	75
4. METODOLOGIA.....	77
4.1 Pesquisa Bibliográfica e Pesquisa Documental.....	81
4.2 Análise de Redes Sociais e Complexas.....	85
4.3 Estudo de Caso do Projeto Petrogal-IFBA-UFBA.....	95
5 APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE REDES À TRAJETÓRIA TECNOLÓGICA MEOR....	96
5.1 Rede 1: Semântica de Patentes MEOR.....	97
5.2 Rede 2: Depósito de Patentes MEOR.....	107
5.3 Rede 3: Rede de Titulares de Patentes de Tecnologias MEOR.....	125
5.4 Rede 4: Rede de Coinvenção de Tecnologias MEOR	138
6 PROJETO PETROGAL/IFBA/UFBA	139
6.1 Resultados do Projeto	146
6.2 O Projeto Petrogal/IFBA/UFBA e as Abordagens da Hélice Tríplice e dos Sistemas de Inovação.....	151
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	155
8 REFERÊNCIAS	168

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as intensas mudanças na dinâmica mundial têm afetado as economias e a concorrência empresarial tornou-se ainda mais acirrada em todos os setores. Os meios para aumentar a competitividade das empresas alteraram-se de uma maneira sem precedentes. Elementos como globalização, avanço tecnológico, customização, tecnologias da informação, negócios digitais e a preocupação com o meio ambiente ganharam força e modificaram completamente a realidade. Particularmente nos dois últimos anos, 2020 e 2021, devido a pandemia da COVID-19, o cenário mundial sofreu alterações significativas em todas as áreas, incluindo a economia e os negócios.

No contexto atual, a eliminação de perdas para a sociedade e a questão ambiental têm sido consideradas de grande valia e assumido cada vez mais relevância no âmbito das organizações. Diante do quadro de real e intensa degradação do meio ambiente e eventos climáticos extremos, poucos insistiriam em discordar da pertinência e importância da incorporação da variável ambiental aos negócios. Nos últimos anos aumentou-se consideravelmente a preocupação e a demanda mundial pela redução das emissões de carbono, uso racional da água, controle do desmatamento, da poluição e do aquecimento global, assim como pelo uso de energias renováveis entre outros elementos que impactam o meio ambiente.

As organizações começaram a manifestar preocupação com a incorporação da variável ambiental nas suas estratégias a partir da década de 1970. Até então, a grande maioria negava o fato de que estaria impactando o meio ambiente de modo desfavorável. No princípio, essa atuação teve caráter compulsório e lentamente veio se transformando em atitude voluntária, a medida que, para garantir a competitividade, tem se tornado necessário muito mais do que a capacidade de adaptar-se às novas exigências e reagir com rapidez.

As estratégias empresariais na área ambiental podem ser reativas ou proativas. As reativas são direcionadas para assegurar a conformidade com as regulamentações ambientais e as práticas aceitas por cada setor. Já nas proativas, segundo resultados da pesquisa realizada por Sharma *et al.* (1999) em sete empresas da indústria do petróleo no Canadá, os investimentos de longo prazo são precoces devido a crença na urgência e na durabilidade da questão ambiental. As empresas moldam as dimensões desta questão, a partir da forma de lidarem com ela sem pressão externa e a possível adaptação, mediante a geração de conhecimento e a capacidade de aprendizado dos gestores. O resultado é uma sensação de autonomia e controle da questão,

motivo de orgulho e estímulo a ação criativa dos gestores. (SHARMA *et al.*, 1999, p. 101, tradução própria)

Contudo, a existência de um movimento das organizações no sentido de incorporar a atenção ao meio ambiente na sua trajetória, não implica que o sistema produtivo siga homogeneamente nesse sentido.

“Mesmo com evidências acumuladas [...] de que estratégias ambientais proativas podem ser acompanhadas de melhora no desempenho financeiro, ainda falta uma completa do motivo pelo qual apenas algumas empresas de um setor implementam tais estratégias.” (SHARMA *et al.*, 2007, p. 269, tradução própria)

No panorama produtivo atual, considerando a relevância da infraestrutura produtiva, da competitividade e do contexto ambiental, exige-se das indústrias e de outras partes interessadas uma compreensão clara do estado do setor energético, especificamente em relação à geração e ao consumo de energia, entre outras demandas. A energia é um elemento estratégico essencial para o desenvolvimento industrial e das sociedades, sendo também a base para operar o modelo tecnológico vigente. A partir da 21ª Conferência das Partes (COP-21) passou a ser indispensável uma compreensão clara do estado desse setor e da necessidade de equilibrar a matriz energética, componente total do conjunto de fontes de energia disponíveis.

Realizada em Paris em 2015, a COP-21, segundo Debarre, Fulop e Lajoie (2016, p. 2), trouxe avanços com o Acordo de Paris, um pacto mundial para desvincular a atividade econômica das emissões de CO₂ objetivando o controle do aquecimento global. A conferência seguinte, a COP-26, realizada na Escócia em 2021, resultou no Pacto pelo Clima de Glasgow que segundo Hoicka *et al.* (2021, p. 1) não é perfeito, mas ainda assim fortalece o Acordo de Paris ao reconhecer que não há limite seguro para o aquecimento global e limitá-lo a 1,5°C em vez do “bem abaixo de 2°C” mencionado no texto de Paris. Também oferece uma estrutura sólida para acompanhar os compromissos em relação aos progressos do mundo real. Entre os resultados da COP-26, também estão a Declaração de Glasgow sobre carros e vans com Emissão Zero, que inclui a transição dos motores de combustão interna para a eletrificação de veículos, e a Beyond Oil and Gas Alliance, que visa a eliminação gradual da produção de petróleo e gás.

Esses acordos têm influência na atual configuração da matriz energética mundial, na qual, segundo a British Petroleum (2018), o petróleo continua a deter a maior fatia, sendo 31,2% em 2021, e segue ocupando lugar de destaque, apesar do avanço das energias renováveis e mesmo com a utilização de combustíveis fósseis resultando na emissão de CO₂.

Conforme Barros (2007), a tendência é que a indústria do petróleo, intensiva em tecnologia, tenha cada vez mais necessidade de manter a competitividade frente às novas fontes de energia. Esse é um ponto que merece atenção, apesar do setor do petróleo, que é conduzido por grandes empresas internacionais, ter se configurado como complexo e forte, resultando em uma robustez nas esferas econômica e operacional, estrutura que tem protegido esse setor de impactos significativos oriundos das movimentações dos mercados, outros segmentos industriais ou mesmo da sociedade.

Os grandes avanços tecnológicos experimentados nos últimos anos têm trazido a possibilidade de produção de petróleo em condições antes consideradas adversas, cujas barreiras têm sido superadas particularmente na exploração e produção de petróleo e gás natural em águas profundas e ultraprofundas. Contudo, é relevante considerar que uma característica intrínseca ao processo de exploração do petróleo é a geração de grande quantidade de água produzida. Segundo Al-Ghouti *et al.* (2019), essa água associada ao petróleo durante o processo de extração é um dos maiores fluxos de efluentes gerados nessas indústrias. Ou seja, são as águas residuais dos campos petrolíferos, cujo gerenciamento requer tratamento e descarte adequados em função dos vários componentes orgânicos e inorgânicos nelas contidos, que podem trazer prejuízos significativos ao meio ambiente. Esse é um dos problemas ambientais associados à indústria do petróleo, e assim como a emissão de CO₂, constitui-se como desafio de natureza estratégica para as empresas do setor.

Assim, permanece clara a necessidade de respeitar e atender ao imperativo ambiental, elemento que tem ganhando ainda mais importância frente à escalada das novas fontes de energias renováveis que são elementos chave na transição energética mundial. Nesse cenário cresce o interesse por métodos que levem ao aumento do fator de recuperação de petróleo, inclusive nos ambientes mais desfavoráveis. Segundo Pinho *et al.* (2016), o aumento do fator de recuperação de petróleo dos reservatórios tem sido uma preocupação recorrente na indústria. Apesar de parecer distante de uma solução definitiva que considere o cuidado com o meio ambiente e ainda possibilite a continuidade do modo de vida atual baseado no uso de combustíveis fósseis e derivados de petróleo, respostas positivas têm surgido com as novas tecnologias. Nesse ponto, o crescimento da atenção dada à área de Recuperação Avançada de Petróleo por Ação Microbiana (MEOR, acrônimo de *microbial enhanced oil recovery*) merece um olhar cuidadoso.

MEOR engloba técnicas de recuperação de petróleo que consistem na injeção de microrganismos ou bioprodutos específicos, por eles excretados, nos poços de petróleo para

facilitar a liberação do petróleo e aumentar o fator de recuperação. Além de proporcionar ganhos econômicos com o aumento da eficiência na extração de petróleo, essas tecnologias levam à redução de danos ambientais decorrentes desse processo. Na MEOR são empregados produtos biodegradáveis em oposição aos produtos químicos sintéticos geralmente utilizados na indústria do petróleo, havendo também a redução do uso de água e das emissões de CO₂.

Segundo Safdel et al. (2017), a MEOR apresenta baixo custo operacional e é uma tecnologia ambientalmente amigável, ou seja, de menor impacto ambiental, além disso, diversos testes de campo indicaram que a sua aplicação leva ao aumento do fator de recuperação do petróleo e significativa redução do uso de água no processo de exploração. Já segundo Farajzadeh (2021), projetos de injeção de polímero para a recuperação de petróleo tem uma pegada de carbono expressivamente menor, além de reverter o corte de água, conforme foi comprovado em um campo no oriente médio.

O processo de inovação na área MEOR tem sido positivamente impactado pelos avanços nas áreas de biotecnologia e nanotecnologia, nas quais se insere. O conhecimento junto com a criatividade constitui matérias-primas cada vez mais essenciais para a dinamização das atividades produtivas por meio da inovação. O resultado da atividade de inovação é o desenvolvimento, produção, adoção ou comercialização de produtos, processos, métodos de gestão e condições laborais novas e/ou melhoradas.

Visando entender a dinâmica da inovação em tecnologias MEOR, a Ciência das Redes surge como um suporte metodológico para esse trabalho. O processo da inovação ocorre mediante a interação entre atores diversos que estabelecem relações de troca com o ambiente externo num ciclo composto por etapas distintas relativas à pesquisa, desenvolvimento e difusão. Segundo Barabasi (2003), a análise de redes sociais e complexas possibilita o mapeamento e a compreensão da dinâmica existente entre diversos sujeitos, inclusive a partir de parâmetros quantitativos.

Conhecer a evolução tecnológica do setor no qual a organização atua é fundamental para o processo de inovação. Em um cenário de avanços tecnológicos, as técnicas de recuperação do petróleo são apresentadas como relevantes, mas existem desafios relativos ao desenvolvimento das pesquisas, como aponta Pinho *et al.* (2016):

A análise das patentes de separação de materiais produzidos pelo poço identificou que o tema apresenta crescente interesse, resultando em volumes cada vez maiores de patentes depositadas nos últimos 15 anos [...].Entretanto, a redução recente nos preços internacionais de petróleo afetou os planos de investimentos das companhias e isto pode reduzir o volume de recursos destinados à pesquisa, desenvolvimento e inovação. (PINHO *et al.* 2016, p. 10).

Para compreender o setor do petróleo é necessário considerar a complexidade das cadeias de produção deste segmento industrial e a competição que nele se estabelece tendo à frente grandes empresas internacionais. Além das empresas petrolíferas, que atuam como operadores ou consorciados nas atividades industriais, há uma vasta rede de fornecedores de bens e serviços para a indústria que, por sua vez, também são desenvolvedores e fornecedores de tecnologias. As redes constituídas por operadores e fornecedores, via de regra, são integradas também por universidades e instituições de pesquisa que podem atuar como desenvolvedores de tecnologias demandadas pela indústria. A difusão de tecnologias nesse setor deve ponderar essas particularidades e também as diferentes etapas que vão desde o desenvolvimento tecnológico, o depósito de patentes até o licenciamento ou cessão para terceiros.

Parte significativa das tecnologias que se difundem na indústria do petróleo são patenteadas antes de serem introduzidas no ambiente produtivo. Desse modo, as patentes tornam-se importantes fontes de informações nesse setor, além de serem uma das formas de estímulo à inovação por favorecerem a transferência de tecnologias e a divulgação de conhecimentos produzidos nas organizações. Enfim, a patente é um instrumento de propriedade intelectual que pode ser utilizado como veículo de prospecção tecnológica. Contudo, apesar de ser uma ferramenta relevante, a patente por si só não induz a inovação que ocorre com a aplicação industrial. A efetivação do processo de inovação depende da dinâmica e dos condicionantes de cada setor que são particularmente complexos na indústria do petróleo.

Com foco na inovação na indústria do petróleo, o objeto desse trabalho é a difusão de inovações tecnológicas na área de Recuperação Avançada de Petróleo por Ação Microbiana (MEOR) que têm sido desenvolvidas em pesquisas conjuntas entre universidades, instituições de ciência e tecnologia e empresas, conforme comprovam os depósitos de patentes da área. O problema central dessa investigação é a existência de poucas aplicações dessas tecnologias na indústria do petróleo, mesmo com o amplo uso dos combustíveis fósseis por grande parte da população mundial contribuindo para as emissões de CO₂ que geram mudanças climáticas nocivas. Em publicações relativas a testes da MEOR em campo frequentemente têm sido relatados resultados ambientais e econômicos favoráveis como o aumento no fator de recuperação e a redução nas emissões de CO₂ e no volume de água produzida resultantes da extração do petróleo.

A partir desse problema buscou-se responder à seguinte pergunta de partida: Como favorecer a difusão de inovações em tecnologias MEOR produzidas em ambientes interativos (ICT-Empresa) no Brasil conciliando as especificidades da academia com as complexidades

das cadeias de produção da indústria de petróleo que envolvem operadores e seus consorciados (empresas petrolíferas) e fornecedores de bens e serviços?

Com base nessas considerações, foram definidos as seguintes hipóteses:

1. As restrições ambientais relativas às emissões de CO₂ e aos efluentes de água produzida gerados na indústria do petróleo favorecem a difusão das técnicas de aumento do fator de recuperação do petróleo baseadas em bioativos (MEOR) em substituição a técnicas que tradicionalmente usam produtos químicos sintéticos.
2. Estratégias adequadas facilitam a difusão das tecnologias MEOR desenvolvidas em ambientes interativos (ICT-Empresa) que não estão em aplicação, apesar de gerarem ganhos econômicos para a indústria petrolífera, ao aumentar o fator de recuperação do petróleo com baixo investimento e de resultarem em ganhos ambientais relativos à redução do uso de água e das emissões de CO₂ no processo de extração de petróleo, impactando positivamente a população que utiliza combustíveis fósseis.
3. É necessário promover o desenvolvimento da indústria do petróleo no Brasil na área dos campos maduros que estão atraindo novos *players* (empresas) demandantes de tecnologias que possam aumentar a produtividade da indústria, bem como em campos que se encontram na segunda etapa da produção e injetam águas para o aumento do fator de recuperação.

O objetivo principal dessa pesquisa é examinar, a partir da análise de cenários de cogeração e difusão de tecnologias, estratégias que favoreçam a transferência para a indústria de tecnologias MEOR geradas em ambientes interativos (ICT-Empresa), impulsionando as patentes para aplicação e conseqüentemente para a inovação.

Nesse sentido foram elaborados os seguintes objetivos específicos:

1. Examinar os impactos da transição energética na indústria do petróleo e do imperativo ambiental relativo às emissões de CO₂ e a água produzida gerada, considerando a inserção das tecnologias MEOR nesse processo.
2. Descrever e comparar tecnologias MEOR existentes e em aplicação a partir de bases de dados de patentes e publicações científicas e técnicas.
3. Definir os atores importantes no desenvolvimento e aplicação das tecnologias MEOR a partir de bases de dados de patentes e publicações científicas e técnicas.

4. Esclarecer a relação entre as patentes MEOR e os países produtores e receptores dessas tecnologias por meio da identificação dos diversos atores envolvidos.
5. Compreender a dinâmica da evolução da tecnologia MEOR a partir da análise de patentes.
6. Analisar os efeitos das abordagens de sistemas de inovação e da hélice tríplice sobre a geração e a transferência das tecnologias MEOR.

A relevância desse estudo deriva da variável ambiental, mais especificamente, do posicionamento do setor do petróleo frente à transição energética mundial que está em curso atualmente. Embora seja possível observar um considerável crescimento gradual na participação das energias renováveis, a matriz energética mundial continua centrada nos combustíveis fósseis que resultam na emissão de CO₂ e em grandes volumes de água produzida. A indústria do petróleo tem feito movimentos no sentido de atuar com energias renováveis, contudo, o seu modo de atuação ainda não apresenta alterações significativas.

Essa pesquisa foi realizada com base em patentes, publicações científicas e técnicas, incluindo a documentação relativa ao Projeto Petrogal/IFBA/UFBA que pesquisou alternativas biotecnológicas sustentáveis para aumento do fator de recuperação de petróleo em uma parceria entre a Universidade Federal da Bahia, o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia e a empresa Petrogal Brasil por meio do Instituto Superior de Petróleo e Gás. Em relação as patentes foi aplicada a análise de redes sociais e complexas para compreensão da dinâmica da evolução da tecnologia MEOR. As publicações, além da aproximação teórica aos temas pesquisados, permitiram caracterizar a MEOR, incluindo aspectos relativos aos testes e aplicações na indústria. No intuito de investigar a dinâmica de produção do conhecimento, pesquisa e inovação no setor do petróleo foi realizado o estudo de caso do projeto Petrogal/IFBA/UFBA que é um exemplo de cogeração de tecnologias MEOR em ambiente interativo, envolvendo academia e empresa.

A execução de projetos em ambientes interativos universidade/empresa não tem sido suficiente para que os seus produtos ou resultados sejam adotados no ambiente produtivo ou mesmo sigam para a fase de desenvolvimento com o respaldo das empresas. Esse é um desafio permanente para a academia, mesmo com o marco legal da inovação e com o aumento da quantidade de patentes depositadas. Esse estudo também propõe um olhar sobre essa questão e está situado na Linha de Pesquisa 02 do Programa de Pós-graduação em Difusão do Conhecimento (PPGDC) – Difusão do Conhecimento: Informação, Comunicação e Gestão,

uma vez que o estudo de estratégias que facilitam a transferência de tecnologia no Setor de Petróleo leva ao entendimento dos processos de geração e difusão do conhecimento a partir de uma realidade complexa. A aplicação da modelagem do conhecimento, a análise e explicação desses processos e de seus impactos na sociedade e no mercado foi fundamental. A gestão do conhecimento foi utilizada para ampliar o potencial dessa pesquisa, a partir da integração de conhecimentos teóricos e dados práticos, com a aplicação da análise de redes sociais e complexas como sistema de representação do conhecimento.

As justificativas para a realização desse estudo encontram-se nos âmbitos teórico, social e pessoal. No âmbito teórico, destaca-se a relevância dos estudos nas áreas da MEOR, da ciência das redes e da gestão do conhecimento e inovação. As tecnologias MEOR têm apresentado resultados consistentes e favoráveis nos testes de campo quanto à melhoria no fator de recuperação de petróleo e do desempenho ambiental relativo às emissões de CO₂ e redução da geração de água produzida, contudo, muitas publicações que tratam das aplicações da MEOR relatam a baixa utilização dessa tecnologia na indústria. Em paralelo, o estudo sobre gestão do conhecimento e inovação contribui para a identificação de estratégias para favorecer o processo de transferência da tecnologia MEOR. No campo da Ciência das Redes, esse estudo experimenta uma nova aplicação da análise de redes sociais e complexas em dados de patentes, a qual oferece grande possibilidade de aplicações em diversas áreas por disponibilizar parâmetros quantitativos para tratar e explicar questões complexas.

Na esfera social, o estudo se justifica frente à necessidade global do uso de tecnologias que reduzam o impacto ambiental dos processos produtivos. Além dos ganhos econômicos oriundos da recuperação de maior quantidade de petróleo, o estudo da MEOR aborda a redução das emissões de CO₂ e da proporção de água produzida gerada na exploração do petróleo. A inovação tecnológica, por sua vez, é fundamental para o desenvolvimento econômico e competitividade dos países, e os ambientes interativos (ICT-Empresa) são fundamentais para a inserção das universidades nesse cenário.

Do ponto de vista pessoal, esse estudo contempla o interesse no estudo da inovação, da questão ambiental nos negócios e da ciência das redes. Adicionalmente, a atuação da autora como docente e pesquisadora de ICT traz interesse na inserção e atuação eficiente dessas instituições processos de geração e difusão de inovações.

São três os principais resultados dessa pesquisa:

1. ampla caracterização da tecnologia MEOR, incluindo a dinâmica da sua evolução, ganhos ambientais e econômicos;
2. aplicação da análise de redes sociais e complexas na prospecção tecnológica por meio de patentes e;
3. estudo do processo de cogeração de tecnologias MEOR em ambiente interativo (ICT-Empresa) a partir da análise do projeto Petrogal/IFBA/UFBA.

Adicionalmente, a metodologia aplicada nesse trabalho pode ser estendida a estudos relativos à transferência de tecnologia produzida em ambientes interativos (ICT-Empresa) em outras áreas.

Essa pesquisa está estruturada em oito capítulos, iniciando por esse capítulo introdutório. Os dois capítulos seguintes compõem o referencial teórico base, composto por tópicos relativos aos temas meio ambiente, petróleo, gestão do conhecimento, inovação e ciência das redes. Em relação ao meio ambiente são abordadas as contribuições da COP-21 e COP-26, transição energética e estratégia ambiental empresarial. Sobre petróleo são abordadas a competitividade e complexidade desse setor. É dada uma atenção especial ao entendimento da tecnologia MEOR, sendo abordados seus elementos principais, mecanismos, trajetória tecnológica, aplicações em campo e resultados de produção e econômicos. Sobre inovação, além do conceito e tipologia, são abordados: sistemas de inovação, hélice tríplice, trajetória tecnológica e propriedade intelectual por meio de patentes. Em seguida, no capítulo 3, é feita uma aproximação à Ciência das Redes: conceitos, histórico, tipos de redes e índices de redes sociais e complexas. No capítulo 4, é detalhada a metodologia construída para essa pesquisa e aprimorada durante o percurso do desenvolvimento desse trabalho. O capítulo 5 versa sobre a aplicação da teoria das redes na análise das patentes da tecnologia MEOR, demonstrando as redes elaboradas e as informações obtidas a partir dessas representações. Essas análises são acompanhadas por exemplos de aplicação da tecnologia MEOR no setor do petróleo. O capítulo 6 é composto pelo estudo de um caso prático de pesquisa em MEOR: o Projeto Petrogal/UFBA/IFBA. Por se tratar de uma parceria entre academia e empresa sob a regulação do governo foi feita uma aproximação às abordagens da hélice tríplice e dos sistemas de inovação. Ao longo dos dois últimos capítulos foram identificadas e examinadas estratégias que favoreceram a transferência para o mercado de tecnologias MEOR geradas em ambientes interativos (ICT-Empresa). Por fim, no último capítulo, são apresentadas as considerações finais com os resultados, limitações da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

2. INOVAÇÃO EM TECNOLOGIAS MEOR

A inovação é o processo de criação e introdução de algo novo na própria organização, no mercado, nos setores produtivos ou na sociedade. Não é um ato único pontual, mas se estende ao longo do tempo. A inovação não se resume à geração de novas ideias, requer a invenção de algo novo e a sua aplicação posterior na própria organização ou no mercado. Esta é, aliás, a principal diferença entre invenção e inovação, enquanto a invenção independe do uso, a inovação pressupõe a utilização ou aplicação.

A atividade da inovação é iniciada com a atuação de inventores que aplicam conhecimento na elaboração de soluções para problemas ou geração de novas demandas para o setor produtivo e para a sociedade. É um processo influenciado e dinamizado por diversos atores desde o princípio, cuja continuidade e efetividade dependem do desenvolvimento das invenções para produção e difusão nos mercados.

Desde 1946, são desenvolvidas pesquisas relativas à recuperação avançada de petróleo por ação microbiana MEOR com incremento no número de patentes depositadas a partir de 2008, conforme mapeado nessa pesquisa. A MEOR consiste em estratégias de injeção de microrganismos ou bioprodutos específicos nos poços para aumentar a quantidade de petróleo extraído. Contudo, segundo Safdel *et al.* (2017), apesar do baixo custo, das vantagens do ponto de vista ambiental e do potencial para aumentar a recuperação do petróleo, a MEOR ainda é pouco aplicada na indústria.

Segundo Ashima *et al.* (2021, p.1. tradução própria), “a média mundial do fator de recuperação de petróleo deve ser aumentada para atender à demanda e à cadeia de suprimentos.” A produção a partir de campos maduros e em maturação não conseguiu acompanhar o ritmo da demanda por petróleo, o fator de recuperação médio mundial está próximo de apenas 30% do petróleo originalmente existente nos reservatórios. O relatório da International Energy Agency (IEA, 2020) aborda essa realidade de declínio na produtividade dos poços, um cenário favorável para a aplicação da MEOR:

A produção dos campos existentes diminui a uma taxa de aproximadamente 8% ao ano na ausência de qualquer investimento, maior do que qualquer queda plausível na demanda global. Consequentemente, o investimento em campos existentes e em alguns novos campos continua a fazer parte do cenário. Mas à medida que o investimento geral cai e os mercados se tornam cada vez mais competitivos, apenas aqueles com recursos de baixo custo e controle rígido de custos e desempenho ambiental estariam em posição de se beneficiar. (IEA, 2020-a, p.11, tradução própria)

A proposta deste capítulo é estudar os referenciais inovação e tecnologias MEOR no intuito de ampliar a compreensão sobre como a gestão da inovação pode auxiliar na difusão e aplicação dessas tecnologias. O processo da inovação eficaz resulta da aplicação da invenção, sem passar pelas fases de desenvolvimento, difusão e assimilação nos mercados, as novas descobertas param na etapa da invenção. Contudo, considerando a importância de compreender os efeitos das Conferências das Partes (COPs) sobre a indústria do petróleo e também o impacto dessa indústria no meio ambiente, esse capítulo abordará inicialmente o tema meio ambiente e petróleo.

2.1 MEIO AMBIENTE, TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E PETRÓLEO

Ao admitir que recursos naturais são exauríveis, a preocupação com a qualidade ambiental vem crescendo em todo o mundo por motivos óbvios. Neste contexto, a atenção ao meio ambiente cresce em importância e torna-se uma meta perseguida por todas as sociedades. Kraemer (2000) diz que as organizações devem incorporar a variável ambiental no aspecto de seus cenários e na tomada de decisão, mantendo com isso uma postura responsável de respeito à questão ambiental.

Empresas experientes identificam resultados econômicos e estratégicos frutos do engajamento da organização na causa ambiental. Estes resultados não se viabilizam de imediato, há a necessidade de que todos os passos para a interiorização da variável ambiental na organização sejam corretamente planejados e organizados, para assim se possa atingir o conceito de excelência ambiental, trazendo com isso vantagem competitiva.

No panorama produtivo atual, a energia é elemento estratégico e essencial para o desenvolvimento industrial e das sociedades, sendo também a base para operar o modelo tecnológico vigente. O conjunto de toda energia transformada e distribuída para uso nos processos produtivos compõe a matriz energética que é determinante para a garantia da continuidade das atividades produtivas e do estilo de vida da sociedade. O funcionamento do mundo dentro dos parâmetros atuais depende da matriz energética que ainda tem o petróleo como componente fundamental. E, embora o consumo das energias renováveis tenha aumentado nos últimos anos, a matriz energética mundial continua fortemente centrada na utilização do petróleo, como confirma a British Petroleum (2022).

Apesar da configuração da matriz energética atual, nas Conferências das Partes, realizadas pela Organização das Nações Unidas (ONU), têm sido estipulados limites para a

emissão de CO₂ e, conseqüentemente, para a utilização de combustíveis fósseis derivados do petróleo. Segundo informações da ONU (2021), na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC), realizada no Rio de Janeiro em 1992, as nações concordaram em estabilizar as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera para prevenir uma interferência perigosa da atividade humana no sistema climático. Esse tratado entrou em vigor em 1994 e desde então a ONU reúne anualmente quase todos os países do planeta para as cúpulas globais do clima, chamadas de Conferência das Partes (COPs), nelas várias extensões ou adições ao tratado UNFCCC foram negociadas. Entre elas, está o Protocolo de Quioto de 1997 que definiu qual o limite de emissões para os países desenvolvidos alcançar até 2012; e o Acordo de Paris, adotado em 2015, ocasião em que ficou estabelecido que todos os países do mundo aumentariam os esforços para limitar o aquecimento global e ampliar o financiamento em ação climática. (ONU, 2021).

Para entender como ocorre a conjunção desses fatores serão inicialmente abordados os seguintes tópicos: conferências das partes, estratégia ambiental empresarial e transição energética. O objetivo é conhecer as forças externas e os elementos do contexto interno organizacional que afetam a indústria do petróleo, no que diz respeito à variável ambiental.

2.1.1 Os Avanços Das Conferências Das Partes e a Indústria do Petróleo

A 21ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (COP-21) foi realizada em Paris em dezembro de 2015 com a participação de quase toda a comunidade internacional. Segundo Debarre, Fulop e Lajoie (2016), essa conferência foi palco da definição do cenário para o futuro consumo de energia, como resultado firmou-se o acordo de manter o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2°C acima dos níveis pré-industriais e prosseguir os esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais.

A 26ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática (COP-26) foi realizada em Glasgow na Escócia em novembro de 2021. Para Berg et al. (2022), as realizações da 26ª COP26 foram frustrantes, pois, de acordo com o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, há apenas 50% de chance de que a temperatura média global não ultrapasse 1,5°C acima dos níveis pré-industriais nos próximos 20 anos. Por outro lado, Hoicka et al. (2021), considera que

O Pacto pelo Clima de Glasgow não é perfeito, mas ainda assim fortalece o acordo de Paris de várias maneiras. Reconhecendo que não há limite seguro para o aquecimento global, o Pacto limitou o aquecimento global a 1,5°C, em vez do mencionado no texto de Paris "bem abaixo de 2°C". Também oferece uma estrutura sólida para acompanhar os compromissos em relação ao progresso do mundo real. (HOICKA et al., 2021, p.1, tradução nossa)

Hoicka et al. (2021) e Berg et al. (2022) ressaltam a necessidade urgente de cortar o financiamento para projetos de combustíveis fósseis. Como a Agência Internacional de Energia deixou claro no início de 2021, não há espaço no orçamento de carbono de 1,5°C para novos investimentos em combustíveis fósseis.

“Mais de 25 países comprometeram-se a encerrar novos financiamentos internacionais para projetos de combustíveis fósseis até o final de 2022, um dos maiores sucessos de Glasgow. Isso poderia transferir mais de US\$24 bilhões/ano de fundos públicos de combustíveis fósseis para energia limpa.” (HOICKA et al., 2021, p.4, tradução própria).

Entretanto, a indústria do petróleo não tem seguido essa tendência, apesar de estar se posicionando rumo à transição energética. Também é importante considerar que não existe uso de energia sem alguma forma de transformação/destruição, mesmo quando se trata das energias limpas.

A COP-26 trouxe avanços no controle de emissão de gases nas áreas de transportes, veículos automotivos e caminhões, embora os resultados não sejam homogêneos no sentido de progressos significativos. O transporte aéreo é uma exceção e não houve evolução nessa área. “Muitos estados, cidades e empresas concordaram em parar de vender motores de combustão interna até 2035.” (ARMENTA, 2022, p.1, tradução própria). A Declaração de Glasgow sobre Carros e Vans com Emissão Zero foi assinada por mais de 100 países, mas Estados Unidos, Alemanha, China, Japão e as duas maiores empresas automotivas, Volkswagen e Toyota, não assinaram (BERG et al., 2022). É importante observar que os maiores emissores de CO², países ou empresas, tem o histórico de não assinar os acordos mais avançados oriundos das Conferências das Partes, o que dificulta o alcance das metas definidas.

Do mesmo modo, outro avanço da COP26, a instituição da Beyond Oil and Gas Alliance (BOGA), não conta com a participação de produtores de petróleo relevantes no quadro mundial, dificultando a execução do seu objetivo principal. A BOGA é uma aliança internacional de governos e partes interessadas que trabalham em conjunto para facilitar a eliminação gradual da produção de petróleo e gás, conforme descrito no seu site. De acordo com o comunicado oficial, a BOGA é uma aliança inédita de governos determinados a definir uma data final para sua exploração e extração de petróleo e gás e restringir novos licenciamentos ou tomar outras medidas significativas que contribuam para o propósito conjunto de alinhar produção de petróleo e gás com as metas do Acordo de Paris. (KULOVIC, 2021, p.1, tradução própria)

A BOGA visa uma eliminação gradual da produção de petróleo e gás nos diálogos climáticos internacionais, mobilizar ações e compromissos e criar uma comunidade internacional de prática sobre esse assunto. Composta por países e estados, em 2021 era liderada pelos governos da Dinamarca e da Costa Rica. Também são membros: França, Groenlândia, Irlanda, Quebec, Suécia e País de Gales. Ingressaram como membros associados Califórnia, Nova Zelândia e Portugal. Por fim, participam como amigos: Itália, Finlândia e Luxemburgo. Porém, a posição de diminuir ou zerar a produção de petróleo nos países membros dessa aliança não tem grande repercussão na indústria do petróleo ao redor do mundo.

Nessa mesma linha, a Dinamarca, líder da BOGA, indicou a realização de avanços significativos relativos à limitação da produção de petróleo. A Orsted, sua Companhia Petrolífera Nacional (NOC) de operação internacionalizada em 2017, conforme o Natural Resource Governance Institute (2019), foi transformada em uma empresa de energia, classificada como a mais sustentável do mundo no Corporate Knights Global 100, desde 2019.

A Dinamarca revelou em dezembro passado que cancelaria todas as futuras rodadas de licenciamento para exploração e produção de petróleo e gás na parte dinamarquesa do Mar do Norte e encerraria a produção existente até 2050. Em 2019, a Dinamarca produziu 103.000 barris de petróleo por dia, tornando-se o segundo maior produtor da União Europeia, depois do Reino Unido. (KULOVIC, 2021, p.1, tradução própria)

Contudo, esse parâmetro também é questionável uma vez que segundo dados do BP Statistical Review of World Energy 2021, a Dinamarca foi responsável por apenas 0,1% da produção de petróleo em 2021, ocupando a 44ª posição no ranking mundial. O Reino Unido por sua vez ocupou a 18ª posição, sendo responsável por 1,2% da produção mundial. A própria União Europeia tem uma pequena representatividade entre os produtores de petróleo, tendo alcançado 4% da produção mundial em 2021.

A vizinha Noruega, que não faz parte da União Europeia, ocupou a 11ª posição ao produzir 2.001.000 barris de petróleo/dia em 2021, o que, segundo dados da ANP (2022), equivale a 2,3% da produção mundial, mais do que a somatória das produções da Dinamarca e do Reino Unido.

Segundo Kulovic (2021), apesar de não fazerem parte dessa aliança, os Estados Unidos e a China (que são grandes produtores de petróleo) revelaram que trabalhariam juntos na década crítica de 2020 e envidariam esforços para manter o aumento da temperatura média global abaixo de 2 graus celsius (° C) e buscando limitá-lo a 1,5 graus ° C.

Downs (2021) apresenta um panorama sobre a posição das petrolíferas chinesas no processo de redução das emissões de CO₂:

É importante lembrar a participação das companhias petrolíferas chinesas nesse processo, entre as quais a PetroChina, a Sinopec e a CNOOC são as principais, o que lhes confere um papel a desempenhar em sua descarbonização. [...] As grandes petrolíferas nacionais chinesas, são atores-chave nos esforços da China para alcançar a neutralidade de carbono até 2060 e já haviam começado a identificar elementos de suas respostas às mudanças climáticas antes do governo chinês anunciar essa meta. [...] Os NOCs da China relatam publicamente as emissões de gases de efeito estufa (GEE). A CNOOC Ltd. começou a relatar suas emissões [...] em 2016, seguida pela Sinopec em 2017 e PetroChina em 2019. (DOWNS, 2021, p.15, tradução própria)

A International Energy Agency (2020-a) ressaltou a necessidade de posicionamento das empresas de petróleo e gás mediante as transições energéticas, de modo a esclarecer as implicações para suas operações e modelos de negócios e explicar as contribuições que podem fazer para acelerar o ritmo da mudança:

[...] os compromissos das empresas para reduzir as emissões estão se tornando mais comuns. No entanto, a indústria pode fazer muito mais para responder à ameaça das mudanças climáticas. Independente do caminho que o mundo seguir, os impactos climáticos se tornarão mais visíveis e severos nos próximos anos, aumentando a pressão sobre todos os elementos da sociedade para encontrar soluções. Essas soluções não podem ser encontradas dentro do paradigma atual de petróleo e gás. (IEA, 2020-a, p.14, tradução própria)

A IEA também indica empresas que tem avançado na melhoria dos índices das emissões de CO₂ enquanto outras regrediram. Ao mesmo tempo conclui que existe baixo engajamento da indústria do petróleo no cumprimento das metas estipuladas pelas COPs:

As medidas e metas de redução de emissões aparecem com destaque nas estratégias de grandes empresas de petróleo e gás. Essas medidas incluem melhorias de eficiência, escolha de fontes de baixo carbono para abastecer essas instalações, redução da queima e emissões de metano. No entanto, os investimentos das empresas de petróleo e gás em áreas não essenciais continuam sendo uma parte menor de seus gastos gerais, e as melhorias operacionais variam em termos de resultados observados. Conforme medido pela intensidade de CO₂ do capital investido, os indicadores de emissão de algumas empresas (por exemplo, BP, Shell, Equinor) melhoraram mais de 10% desde 2015, enquanto para várias outras empresas pioraram. Alguns *players* (por exemplo, ExxonMobil, Chevron, Eni) tornaram-se importantes compradores de energia renovável por meio de contratos corporativos de compra de energia. As tendências agregadas sugerem que o alinhamento da indústria com as transições energéticas é, na melhor das hipóteses, um trabalho em andamento. Até certo ponto, isso reflete políticas mais amplas e sinais de mercado, que na maior parte do mundo não encorajaram uma mudança total nas prioridades estratégicas da empresa. Mas a conclusão é que há poucos sinais da realocação significativa de gastos de capital que seriam necessários para cumprir as metas do Acordo de Paris. (IEA, 2020-a, p.46, tradução própria)

Enfim, percebe-se uma contradição entre o resultado das duas últimas Conferência das Partes e a atual configuração da matriz energética mundial, na qual o petróleo continua a assumir papel de destaque no sistema de geração de energia para a sociedade, ainda que o uso de energia fóssil resulte na emissão de dióxido de carbono (CO₂). Este gás, encontrado na atmosfera e principal responsável pela elevação das temperaturas com consequente desequilíbrio climático no planeta, é um subproduto da queima de matéria orgânica, de combustíveis fósseis e de biomassa e outros processos industriais. Segundo o World Energy Outlook, publicado pela International Energy Agency (IEA) em 2018, o CO₂, além de ser o

principal gás de efeito estufa antropogênico, afeta o equilíbrio radiativo da Terra e acidifica os oceanos, entre outros efeitos nocivos ao meio ambiente e à vida humana.

2.1.2 Transição Energética e Emissões De CO₂

A matriz energética é composta pelo conjunto de fontes de energia disponíveis para consumo e demanda. Diante do cenário de preocupação com meio ambiente e dos acordos oriundos das COPs é importante observar como a matriz mundial tem evoluído nos últimos anos. Adicionalmente, será de grande contribuição para essa pesquisa, localizar o posicionamento dos combustíveis fósseis na dinâmica da matriz energética mundial.

No Environment Social and Governance (ESG) do Banco Mundial (2018) foram apresentadas informações sobre 17 temas-chave de sustentabilidade, abrangendo categorias ambientais, sociais e de governança. Entre os indicadores disponibilizados estão os relativos às emissões de CO₂ em toneladas per capita entre 1960 e 2016. Nesse período, houve o crescimento progressivo das emissões de CO₂ decorrentes da queima de combustíveis fósseis e gás, fabricação de cimento e consumo de combustíveis sólidos, líquidos e gasosos.

Farajzadeh *et.al.* (2021) alertam que as emissões de CO₂ ocorrem desde o processo de recuperação de petróleo e está diretamente relacionada à produção de petróleo por injeção de água por causa do corte de água do campo. O corte de água é a fração produzida pelo reservatório, incluindo água de formação do próprio poço e água injetada. Quando está acima de 90%, uma grande parte da energia obtida a partir do petróleo é utilizada no seu manejo, levando a grandes emissões de CO₂. Portanto, é necessário utilizar técnicas de recuperação que reduzam o uso de água e conseqüentemente a emissão de CO₂. Percebe-se assim, a necessidade de desenvolvimento de tecnologias de recuperação de petróleo que resultem em um menor índice de emissão de CO₂:

[...] as emissões indiretas de CO₂ resultantes da produção de óleo em altas taxas de água podem se tornar comparáveis às emissões diretas de CO₂ de sua combustão. Portanto, ao operar os reservatórios de petróleo em cortes de água mais baixos, a liberação de grandes quantidades de CO₂ poderia ser evitada. As condições ótimas de operação de um campo de petróleo (em termos de valor presente líquido máximo ou emissão mínima de CO₂) não levam necessariamente à produção máxima de óleo do reservatório. Essas operações ótimas também deixam mais óleo no reservatório, que pode ser produzido posteriormente por uma técnica com uma pegada de CO₂ comparativamente menor, como injeção de polímero. (FARAJZADEH et al., 2021, p.6, tradução própria).

Na *Statistical Review of World Energy* de 2021 (BP, 2021), a BP indicou que a demanda global de energia caiu 4,5% em 2020. Esta foi a maior recessão desde o final da Segunda Guerra

Mundial, impulsionada por um colapso sem precedentes na demanda por petróleo, a imposição de bloqueios em todo o mundo dizimou a demanda relacionada ao transporte.

O estilo de vida e a nova dinâmica econômica durante a pandemia da COVID-19 modificaram a demanda por energia de um modo sem precedentes. Foi prevista a redução da demanda por petróleo, gás natural, carvão e eletricidade para o ano de 2020, a exceção foi a eletricidade que apresentou menor queda que a estimada. Já o gás natural mostrou maior resiliência, ajudado principalmente pela continuidade do forte crescimento na China.

As energias renováveis também continuaram a crescer, lideradas pelas energias eólica e solar que registraram o maior aumento de todos os tempos na participação no mix de energia global. A relativa imunidade das energias renováveis aos eventos do ano de 2020 foi encorajadora. Entretanto, a demanda por petróleo foi muito menor que a prevista, sendo responsável por cerca de três quartos da redução total da procura por energia:

A produção mundial de petróleo caiu pela primeira vez desde 2009, em 6,6 milhões b/d em 2020, impulsionada pela OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo) (-4,3 milhões b/d) e não-OPEP (-2,3 milhões b/d). Em termos de países, Rússia (-1 milhão b/d), Líbia (-920.000 b/d) e Arábia Saudita (-790.000 b/d). A produção aumentou apenas em alguns países, principalmente Noruega (+260.000 b/d) e Brasil (+150.000 b/d). O consumo de petróleo também caiu pela primeira vez desde 2009 em 9,1 milhões de b/d. A queda ocorreu tanto na OCDE (-5,8 milhões b/d) quanto na não-OCDE (-3,3 milhões b/d). Os EUA (-2,3 milhões b/d), a União Europeia (-1,5 milhão b/d) e a Índia (-480.000 b/d) registraram as maiores quedas. A China foi um dos poucos países onde a demanda aumentou em 2020 (+220.000 b/d). (BP, 2021, p.25, tradução própria)

No decorrer do tempo, as fontes básicas de energia tem sido alteradas, segundo a BP (2018 e 2021): entre 1992 e 2017, apesar do consumo de petróleo ter aumentado, à exceção do carvão e da hidroeletricidade, outras fontes de energia cresceram a taxas acima da média, sendo o maior incremento o do gás natural, seguido pelas energias renováveis; entre 1995 e 2020, o petróleo manteve a maior fatia do mix energético (31,2%) e continuou a ser predominante na África, Europa e Américas; o gás natural dominou na Central European Initiative (CEI) e no Oriente Médio, respondendo por mais da metade do mix de energia em ambas as regiões; em 2020, dominante na Ásia-Pacífico, o carvão foi a segunda maior fonte, respondendo por 27,2% do consumo total de energia primária, um ligeiro aumento em relação aos 27,1% do ano anterior; nesse mesmo ano, a participação do gás natural e das energias renováveis subiu para recordes de 24,7% e 5,7%, respectivamente, sendo que as energias renováveis ultrapassaram a energia nuclear, que representa 4,3% da matriz energética; a participação da hidroeletricidade aumentou 0,4 ponto percentual em 2019, passando para 6,9%, o primeiro aumento desde 2014. (BP, 2018 e 2021, tradução própria)

A International Energy Agency (IEA, 2020-a) apresentou uma síntese do paradoxo existente entre a demanda da sociedade por energia e a busca por resultados ambientais mais favoráveis envolvendo a indústria do petróleo:

As sociedades estão exigindo simultaneamente serviços de energia e reduções de emissões. As empresas de petróleo e gás foram eficazes em fornecer os combustíveis que são a base do atual sistema de energia; a questão que agora enfrentam é se podem ajudar a fornecer soluções climáticas. [...] Isso será possível se a indústria de petróleo e gás der os passos necessários [...] para se engajar numa “grande coalizão” que a AIE considera essencial para enfrentar as mudanças climáticas. Quanto mais empresas participarem desse esforço, melhor será. Os custos do desenvolvimento de tecnologias de baixo carbono representam um investimento na capacidade das empresas de prosperar a longo prazo. (IEA, 2020-a, p.5, tradução própria)

A indústria de petróleo e gás deve encontrar soluções para atender à demanda de energia (sempre) crescente de forma mais sustentável e limpa enquanto as fontes renováveis se tornam acessíveis. Uma possibilidade é a exploração de técnicas para reduzir as emissões de CO₂ dos campos de petróleo maduros em especial e do processo de recuperação do petróleo em geral, diminuindo, conseqüentemente, outros impactos ambientais desses processos.

Uma parcela significativa da energia de hidrocarbonetos produzida é consumida para manuseio de fluidos, injeção de fluidos, tratamento de água, refino e sua produção, dependendo do mecanismo de recuperação. Na prática, no final da vida útil do campo, a energia necessária para a circulação do fluido pode exceder a energia obtida dos hidrocarbonetos.” (FARAJZADEH et al., 2021, p.2, tradução própria).

Nessa questão as tecnologias MEOR importantes por terem apresentado resultados positivos quanto ao aumento do fator de recuperação e à redução do uso de água no processo de exploração do petróleo, o que é particularmente relevante em campos maduros.

Inclusive, as petrolíferas chinesas, apesar de terem identificado a melhoria da eficiência energética como um componente de suas estratégias climáticas, apresentaram resultados sugestivos de que os campos de petróleo maduros da China estão complicando seus esforços para melhorar a eficiência energética. A quantidade de energia consumida pelas empresas para cada unidade de óleo equivalente produzida aumentou ou permaneceu relativamente estável nos últimos anos.

A PetroChina e a (China National Offshore Oil Corporation) CNOOC publicaram dados sobre o consumo de energia por unidade de petróleo e gás natural produzidos desde 2015 e 2016 respectivamente. A quantidade de energia que a CNOOC usou por cada tonelada de petróleo e gás natural aumentou 17% de 2016 a 2019. Em contraste, o consumo de energia da PetroChina por unidade de petróleo e gás natural produzido caiu 7% de 2015 a 2016, permanecendo relativamente estável até 2020. (DOWN, 2021, p. 16-17, tradução própria)

Por outro lado, no que se refere à disponibilidade do petróleo, há reservas suficientes para consumo em longo prazo. Segundo a IEA (2020-a), uma parcela significativa da produção de

petróleo e gás no período até 2040 vem das reservas nos campos produtores atuais. Essas são as reservas comprovadas, exploradas pela infraestrutura existente. A produção desses campos diminuirá no futuro à medida que a pressão natural no reservatório começar a cair. Essa taxa agregada de declínio é provavelmente o fator mais importante que afeta as necessidades futuras de investimento da indústria do petróleo. (IEA, 2020-a)

Segundo Debarre, Fulop e Lajoie (2016):

[...] não mais do que um terço das reservas comprovadas de combustíveis fósseis pode ser consumido antes de 2050, se o mundo tiver uma chance razoável de alcançar a meta de 2°C, a menos que outros sumidouros de carbono (como *carbon dioxide capture and storage* (CCS), manejo florestal e agricultura) sejam amplamente utilizados. (DEBARRE; FULOP; LAJOIE, 2016, p. 4, tradução própria)

Mesmo com a crescente relevância das fontes alternativas de energia utilizadas nos últimos anos, o petróleo ainda é fundamental. O seu papel especial na matriz energética mundial pode ser explicado por sua capacidade de aliar o desenvolvimento a ganhos econômicos. Segundo Ihlen (2009), na visão ambiental da maioria das empresas petrolíferas internacionais, as fontes de energias alternativas não permaneceriam com a relevância que têm assumido gradativamente. Assim, essas produtoras não apostavam na rápida eliminação dos combustíveis fósseis em favor da energia renovável.

Entretanto, vale ressaltar que a busca por matrizes energéticas baseadas em fontes renováveis torna bastante complexa a dinâmica da competição entre fósseis e renováveis. Por um lado, a viabilidade econômica de energias renováveis em muitos casos tem decorrido de subsídios e fomentos públicos. Deve-se ainda considerar que o empenho pelo desenvolvimento das renováveis não é o mesmo nos diferentes países, no sentido de que alguns, particularmente aqueles que não são produtores de petróleo, devem se empenhar mais fortemente no desenvolvimento das fontes renováveis do que outros.

Por outro lado, as tecnologias que aumentam a produtividade da indústria do petróleo podem resultar na diminuição dos preços da commodity e, nesse sentido, dificultar a difusão de renováveis. Entretanto, deve-se considerar que os preços do petróleo também são determinados por fatores externos e geopolíticos e o aumento da produtividade, por si só, pode não ser determinante para a diminuição dos preços, mas contribuir para o aumento dos lucros das empresas produtoras e suas associadas e ainda para o aumento das arrecadações governamentais nos países produtores.

2.1.3 Estratégia Empresarial Ambiental

Neste tópico, é abordado o modo como as empresas têm desenvolvido estratégias para lidar com a questão ambiental. O início do processo de internalização da variável ambiental pelas organizações foi caracterizado pela preocupação em atender à legislação ambiental. Nesse intuito, empresas adotaram a postura de controladoras da poluição e passaram a empregar tecnologias *end-of-pipe*, ou seja, utilizar equipamentos de controle da poluição nas saídas dos efluentes e emissões para o meio ambiente.

Nas organizações, as estratégias consistem no planejamento robusto e execução de ações que conduzam ao cenário de futuro, finalidade, objetivos e metas definidas. Para tanto, na sua elaboração devem ser considerados o contexto interno e as contingências externas que afetam positiva ou negativamente a companhia. “As empresas adotam estratégias de amplitudes diferentes para as questões relacionadas ao meio ambiente, tais como as reativas e as proativas.” (MAÇANEIRO, 2015, p.68). Segundo Sharma et al. (1999), essas posturas parecem estar associadas as diferenças básicas nas formas como os gerentes interpretam a natureza da questão ambiental, a considerando como ameaça ou oportunidade:

Os gerentes de empresas que exibem estratégias ambientais reativas claramente esperam perdas decorrentes de questões relacionadas ao meio ambiente. Seja em termos de algum investimento necessário para gerenciar a questão (por exemplo, equipamentos de controle de poluição, auditorias ambientais) ou em termos de custos incorridos devido a resultados indesejáveis (por exemplo, limpeza de derramamentos). A incerteza e a ambiguidade em relação às relações de causa e efeito entre as ações organizacionais e o impacto ambiental contribuem para uma sensação do problema como altamente incontrolável. A maior preocupação que a questão evocou para o bem-estar das organizações, a definiu como uma situação negativa. [...] essas empresas encontravam-se em uma situação muito difícil, enfrentando claras demandas externas, mas não tendo desenvolvido rotinas organizacionais adequadas nem as capacidades de aprendizado necessárias para lidar com a questão ambiental de forma eficaz. (SHARMA *et al.*, 1999, p. 100-101, tradução própria).

A atitude reativa das organizações foi inicialmente estimulada por elementos do ambiente externo: as legislações e os custos ambientais. Focada na sobrevivência, esta estratégia é guiada pelas regulamentações legais, então a poluição e os cuidados com o meio ambiente são considerados custos.

Segundo Ashford (2000), no início da década de 1970, a maioria das regulamentações ambientais refletia tanto os limites recebidos da autoridade legislativa quanto a substancial influência da indústria sobre a elaboração desses padrões. As regulamentações mais recentes tendem a ser mais rigorosas, mas ainda são dependentes das tecnologias existentes (muitas vezes aquelas de uso minoritário ou raro).

O efeito da estratégia das agências de regulação na inovação não se limita ao estabelecimento de padrões. [...] O grau em que os requisitos de uma regulamentação são rigorosamente aplicados pode influenciar a disposição de um setor industrial de tentar inovar. (ASHFORD 2000, p.21, tradução própria)

A permanência das empresas nas estratégias reativas, em uma posição de adaptação as regulamentações, deu-se em função da crença de que a questão ambiental seria passageira e pouco relevante. Aos poucos, aquelas empresas que perceberam a possibilidade de atuar à frente do imperativo legal, de situarem-se acima dos padrões estabelecidos, migraram para as estratégias proativas. Segundo Andrade (1997), a partir dos anos 80 percebeu-se que o posicionamento à frente da Estratégia Reativa poderia se constituir em um diferencial no mercado, além de favorecer a criação de novas oportunidades de negócio.

Com proatividade estratégica, são desenvolvidos processos e rotinas para reconhecer ideias, aproveitar e capitalizar ativamente novas oportunidades, em vez de ocorrer a simples reação à mudança. Isso envolve a identificação precoce de novas oportunidades de liderança tecnológica [...] A estratégia ambiental proativa ajuda a antecipar e responder, em vez de reagir. (SHARMA *et al.*, 2007, p. 272-273)

Gestores de empresas com estratégias ambientais proativas consideram os ganhos que poderiam ser obtidos a partir de uma variedade de iniciativas e buscam formas de incorporá-los em seus processos de tomada de decisão estratégica e operacional. A maior certeza sobre a disposição e capacidade dessas organizações para enfrentar esse desafio sinalizava que se tratava de uma questão sobre a qual se poderia exercer algum grau de direcionamento tecnológico e administrativo, contribuindo para um maior senso de controle. Por fim, a crença de que as atividades realizadas para gerenciar essa questão eram favoráveis à realização de uma meta corporativa central deu a essa questão um tom positivo. (SHARMA *et al.*, 1999, p.100, tradução própria)

As estratégias proativas criam vantagem competitiva a partir de ações precoces e inovadoras tomadas pelas organizações, não apenas para gerenciar a identidade, imagem e reputação organizacional com os principais *stakeholders*, mas também para obter a vantagem de prospectar primeiro (MILES *et al.*, 1978). Para Andrade (1997), a estratégia empresarial proativa, centrada no controle de processos, passou a agregar os princípios de prevenção da poluição, redução do uso de recursos ambientais e não geração de resíduos. Sharma (2007) diz que estratégias ambientais proativas de redução de resíduos e prevenção da poluição que excedem os requisitos regulatórios são acompanhadas por desempenho financeiro.

Empresas proativas empreenderam desde cedo em investimentos de longo prazo, com base na crença, na urgência e na durabilidade da questão ambiental. Essa ação precoce permitiu que essas empresas moldassem as dimensões da questão ambiental e lidassem com ela sem pressão externa. Também deu tempo aos gestores para se familiarizarem com a questão e

gerarem conhecimento e capacidade de aprendizado, possibilitando lidar com a interface de negócios-ambiente a longo prazo. (SHARMA *et al.*, 1999, p.101, tradução própria)

Kraemer (2000) diz que as organizações devem incorporar a variável ambiental no aspecto de seus cenários e na tomada de decisão, mantendo com isso uma postura responsável de respeito à questão ambiental. Empresas experientes identificam resultados econômicos e resultados estratégicos do engajamento da organização na causa ambiental. Estes resultados não se viabilizam de imediato, há necessidade de que sejam corretamente planejados e organizados todos os passos para a interiorização da variável ambiental na organização para que ela possa atingir o conceito de excelência ambiental, trazendo com isso vantagem competitiva.

2.2 INOVAÇÃO EM TECNOLOGIAS MEOR

Pesquisa e desenvolvimento são essenciais para possibilitar a posterior efetiva aplicação das novas tecnologias, com a conseqüente entrada no mercado, completando, assim, o ciclo da inovação. Segundo Barros (2007), a indústria do petróleo, que é intensiva em tecnologia, tem cada vez mais necessidade de manter a competitividade, inclusive frente às novas fontes de energia.

A recuperação do petróleo bruto é o processo tecnológico de deslocamento e conseqüente vazão do óleo do interior da rocha reservatório onde está contido para a superfície. O ciclo de recuperação de petróleo se divide nos estágios primário, secundário e terciário. Nesses estágios aumentam progressivamente: a dificuldade de movimentação do óleo para extração, a quantidade recuperada e conseqüentemente, o aparato tecnológico empregado (TERRY, 2001; LAZAR *et al.*, 2007), a depender da quantidade de energia natural do campo e do tipo de tecnologia utilizada na recuperação visando a eficiência produtiva (NWIDEE, 2016). A cada fase a quantidade de petróleo recuperado aumenta, assim como as demandas por tecnologia e energia, que refletem em maiores custos de produção e portanto, em menor eficiência econômica.

Inicialmente, na recuperação primária, a pressão natural do reservatório desloca o petróleo da rocha por meio da progressiva queda da pressão causada pela abertura do poço na superfície. Com a redução da pressão interna ao longo do ciclo de vida do poço, são necessários os métodos de recuperação secundária, nos quais ocorre a injeção de gás ou de grandes volumes de água no poço para aumentar a pressão do reservatório, empurrando o óleo para fora, onde pode ser coletado (GOODMAN, 2017) por máquinas e equipamentos.

A circulação da água para a produção do petróleo é um fator importante a considerar na recuperação de petróleo por injeção de água, característica da fase secundária. Com o tempo, a quantidade de água no poço, a chamada água produzida, aumenta muito, enquanto a quantidade de petróleo diminui bastante. A fração de água produzida existente no líquido total gerado é chamada de corte de água.

A água, como elemento fundamental no processo de recuperação de petróleo, é a origem de importantes demandas ambientais, inclusive em função da correlação existente entre o CO₂ da produção de petróleo por injeção de água e o corte de água de campo. Segundo Farajzadeh *et al.* (2021, p.1, tradução própria), em cortes de água superiores a 90%, mais de 70% da energia total investida (na produção do petróleo) é gasta em bombas injetoras e elevatórias (para a movimentação da água), resultando em grande quantidade de CO₂ durante a produção de petróleo e contribuindo muito para a emissão de gases de efeito estufa. Além das emissões de CO₂ e do custo com a movimentação da água no processo de produção, é necessário considerar que a água produzida não é totalmente reinjetada no poço e precisa passar por estações de tratamento antes do descarte. Por isso, a redução no volume dessa água resulta em menores custos de produção, além de trazer expressivo ganho ambiental relativo a: redução das emissões de CO₂ oriundas do bombeamento, tratamento e racionalização do uso da água.

Devido à ampla aplicação da injeção de água, a redução da intensidade de carbono de campos petrolíferos, em especial dos envelhecidos ou maduros, com grandes cortes de água é um passo essencial. O declínio da taxa de injeção de água nos poços é uma grande preocupação e concomitantemente, a qualidade microbiológica da água tem sido considerada como elemento chave.

A depender do valor de mercado do petróleo, quando o corte de água é muito alto, ou seja, a proporção de água é muito maior que a de petróleo, o processo de recuperação secundária é interrompido, contudo, muito óleo ainda permanece no poço. Cerca de 2/3 do petróleo permanece nos reservatórios após a recuperação primária e a secundária. O fator de recuperação médio mundial está próximo de apenas 30% (KHAN, 2021) e é definido como a razão volumétrica entre o óleo produzido acumulado e o óleo inicial no reservatório.

As limitações na eficácia da recuperação primária e da secundária, quando a energia natural do reservatório (primária) e a injeção de água ou gás (secundária) não conseguem produzir óleo de forma eficaz, levam à recuperação avançada de petróleo (EOR) de fase terciária, que visa movimentar o óleo residual para a extração, conforme detalha Pinho (2016):

Atualmente a taxa de recuperação primária do óleo originalmente *in place* está em torno de 15% a 20%. Com a utilização de métodos de recuperação secundária esta taxa sobe para cerca de 35%. Já a utilização de processos de recuperação avançada de óleo pode gerar incremento no fator de recuperação do óleo para algo entre 40 e 50%, o que os torna bastante atrativos em contexto de valorização do preço da *commodity* e exploração de reservatórios com maior grau de complexidade, por conseguirem aumentar o retorno do investimento. (PINHO *et al.*, 2016, p. 3).

Os métodos EOR, acrônimo de Enhanced Oil Recovery, consistem no emprego de métodos químicos, físicos e biológicos e resultam em uma maior quantidade de petróleo recuperada do que nas fases anteriores. São classificados como térmicos e não térmicos, no EOR térmico, a temperatura do petróleo no reservatório é aumentada para diminuir a viscosidade, permitindo sua movimentação para extração. Os métodos EOR não térmicos incluem métodos físicos, químicos e biológicos (KHAN, 2021) que abrangem o uso de gases, injeção de água de surfactantes, polímeros, entre outros. Na EOR química, por exemplo:

moléculas de polímeros hidrossolúveis são adicionadas à água injetada para aumentar a viscosidade (do petróleo), o que reduz a sua mobilidade, melhorando a eficiência do processo de deslocamento. Para extrair o óleo remanescente preso pelas forças capilares, às vezes são adicionados surfactantes para diminuir a tensão interfacial entre óleo e água. Em um projeto EOR de polímero típico (surfactante), a injeção de produtos químicos começa quando o corte de água (fração de água no líquido total produzido) nos (poços) produtores atinge um grande valor (referido como recuperação terciária), embora a injeção precoce de produtos químicos possa ser mais eficiente. A injeção de produtos químicos apropriados (no modo terciário) geralmente resulta na redução do corte de água e aumento do corte de óleo e, portanto, na recuperação final do óleo. (FARAJZDEH *et al.*, 2021, p.2, tradução própria)

O interesse no tema da recuperação avançada de petróleo tem aumentado ao longo dos últimos anos. O principal impulso nesse sentido deu-se pela elevação concomitante no consumo e no preço do petróleo. Também foram relevantes, entre outros fatores, os avanços tecnológicos e de sinergia entre os processos de EOR, de caracterização, modelagem e simulação de reservatórios que experimentaram forte incremento tecnológico recente.

O desenvolvimento das áreas de biotecnologia, nanotecnologia e tecnologias da informação e comunicação tem trazido a possibilidade de produção de petróleo em condições antes avaliadas como desfavoráveis. Ao mesmo tempo, tem crescido o interesse por tecnologias que levem ao aumento do fator de recuperação de petróleo, inclusive nos ambientes mais adversos.

Compreender a complexidade da indústria do petróleo é importante para o entendimento dos processos de geração, desenvolvimento e difusão da inovação nesse setor. O progresso tecnológico tem gerado avanços que, além dos ganhos econômicos decorrentes do aumento do fator de recuperação, resulta em ganhos ambientais, como no caso específico das tecnologias MEOR.

O foco nessa etapa, é compreender como a complexa indústria do petróleo tem se organizado, inclusive frente ao processo de transição para fontes de energia renováveis, identificando o potencial que as tecnologias MEOR têm nesse contexto. Também serão abordadas a difusão do conhecimento, a transferência de tecnologia e a inovação que são processos fundamentais para a incorporação das novas tecnologias na indústria.

2.2.1 A Indústria do Petróleo frente à transição energética

Apesar da demanda mundial por combustíveis fósseis ser muito representativa mesmo com o crescimento das energias renováveis, atender essa procura com atenção às novas diretrizes ambientais acordadas nas COPs ainda é um desafio para o setor do petróleo. Sua operação é feita por um conjunto diversificado de companhias e atores que interagem e mutuamente influenciam suas próprias ações, determinando o desempenho desse setor que é extremamente relevante para a manutenção do atual estilo de vida das sociedades, conforme abordado no item 2.1.2 dessa tese. Neste tópico, são abordadas as características e a configuração da indústria do petróleo, as etapas do seu processo produtivo, os tipos de empresas, os países produtores ao redor do mundo e aspectos referentes ao setor do petróleo no Brasil.

Complexa e intensiva em tecnologia, a indústria petrolífera mobiliza altos valores em investimentos em pesquisa, equipamentos, mão de obra qualificada e movimentações de mercado. Seu funcionamento ocorre mediante as atividades de exploração relativas à localização e às pesquisas geológicas para estudo de novas jazidas e atividades de produção, com desenvolvimento de campos, perfuração e extração do petróleo. A ANP (2020-A) diz que a exploração e produção constituem a base da indústria do petróleo. Grandes recursos são investidos em desenvolvimento tecnológico, na ampliação do conhecimento geológico e na formação de uma cadeia de bens e serviços que lhe dê suporte.

Segundo a IEA (2020-b), a exploração além de ser uma atividade de alto risco, é cara. No entanto, quando um local de exploração é bem-sucedido e a extração de petróleo e gás é produtiva, os custos de exploração são recuperados, sendo significativamente menores em comparação com outros custos de produção.

Como a exploração e o desenvolvimento de novos campos são processos complexos e arriscados, as empresas geralmente dividem a propriedade do capital para distribuir o risco e a recompensa e incentivar a colaboração técnica e operacional; esse arranjo

também costuma estipular quem operará o campo assim que ele iniciar a produção.. (IEA, 2020-b, p.24, tradução nossa)

As empresas se organizam entre os setores *upstream*, *midstream* e *downstream*, podendo especializar-se em algum desses setores ou atuar em todos eles, como no caso das empresas integradas. As atividades *upstream* são as relativas à exploração e produção que ocorrem *offshore* em plataformas no mar ou *onshore* em instalações de perfuração em terra, nas quais os poços são agrupados em um campos. Segundo dados do Boletim da Produção de Petróleo e Gás Natural da ANP de Dezembro de 2021, no Brasil, a produção *onshore* em dezembro de 2021 representou apenas 3% e 97% da produção ocorreu *offshore*, sendo 73,8% oriundos do pré-sal. (ANP, 2021-b, p.2)

No *midstream* são feitos o transporte e armazenamento do petróleo bruto, gás natural e produtos refinados. Já o *downstream* é responsável pelo refino e comercialização. Segundo a IEA (2021-a), as parcerias são predominantes no *upstream*, onde muitas empresas, assim como as companhias petrolíferas, recorrem aos serviços especializados e terceirizam para as empresas de serviço, as operações de perfuração, completação de poços e logística.

As empresas *upstream* se beneficiam dos altos preços e volumes de petróleo e gás. [...] Muitas empresas de petróleo e gás contratam empresas de perfuração especializadas e pagam pela equipe de trabalho e taxas diárias da plataforma.[...] O segmento (*midstream*) é composto por muitos operadores de transporte independentes. Os volumes de petróleo e gás são importantes para as empresas de médio porte, e os preços estão relacionados ao volume. [...] As empresas de *downstream* se beneficiam de margens de lucro onde podem vender seus produtos refinados por mais do que o custo de aquisição dos recursos brutos. Outras métricas incluem o número e o tamanho das refinarias. Há menor concentração de mercado do que no segmento *upstream*. (Library of Congress, 2022, tradução própria)

Além das empresas petrolíferas, que atuam como operadoras ou consorciadas nas atividades industriais, há uma vasta rede de fornecedores de bens e serviços que também são desenvolvedores e fornecedores de tecnologias:

- Companhia Petrolífera Nacional (NOC, acrônimo de *National Oil Company*): são companhias que pertencem total ou majoritariamente aos governos nacionais e atuam em operações domésticas ou internacionalizadas. “Embora sejam companhias nacionais, existem NOCs com grande produção fora de suas fronteiras. Os maiores produzem mais do que os produtores domésticos que possuem NOCs de menor capacidade e deixam as atividades de produção para empresas privadas estrangeiras.” (Natural Resource Governance Institute, 2019)

- Empresa internacional de petróleo: também chamada de *International Oil Company* (IOC) ou *Major*, são empresas privadas de capital aberto nas bolsas de valores dos EUA e da Europa.
- Companhia Independente: de propriedade privada, menores em tamanho, são operadoras de *upstream* independentes.
- Empresas de serviços: privadas, prestam serviços de *upstream* terceirizadas.
- Empresas de *downstream*: privadas.
- Empresas comerciais: privadas, atuam em atividades *midstream*.

Para a IEA (2020-a), apesar das NOCs serem as maiores proprietárias de reservas, as Companhias Independentes realizam maiores investimentos e têm uma produção de petróleo maior do que a que seria esperada, considerando a quantidade de reservas que detêm.

A prevalência de diferentes tipos de parcerias na indústria de petróleo e gás significa que a influência das empresas pode se espalhar muito mais do que sua participação acionária ou operações diretas. Por exemplo, as *Majors* detêm participações em campos que produzem muito mais do que os 10 mb/d de petróleo bruto que possuem. Cerca de 40% da produção de petróleo detida por Independentes vem de campos em que uma das *Majors* detém participação. Em outras palavras, os *Majors* detêm algum nível de influência sobre três vezes mais produção global do que eles possuem diretamente. [...] Isso tem implicações potenciais importantes para a influência dos *Majors* nas práticas de produção *upstream*. Por exemplo, a coordenação entre os *Majors* e seus parceiros em todos os campos em que os *Majors* têm participação, em favor do uso de certas práticas ou tecnologias, impactaria quase três vezes mais a produção do que se fossem instituídas apenas em campos que os *Majors* possuem ou operam diretamente. (IEA, 2020-a, p.24, tradução própria)

No quadro 1 foram listadas as 10 principais NOCs que são grandes *players* no mercado global e outras de grande e médio portes. Além dessas, existem, pelo menos, mais 22 NOCs que são pequenas produtoras, 13 delas situadas na África, 2 no Oriente Médio, 5 na América e 2 na Ásia. A publicação *Companies in the National Oil Company Database do Natural Resource Governance Institute* (NRGI) elencou 71 NOCs, sediadas em 61 países.

As companhias petrolíferas nacionais (NOCs) desempenham papel importante nas economias de seus países de origem e são atores críticos nos mercados globais de petróleo e gás. Produzem aproximadamente 55 por cento do petróleo e gás do mundo, bombeando cerca de 85 milhões de barris de óleo equivalente por dia. O Banco Mundial estimou que controlam até 90% das reservas globais de petróleo e gás, servindo assim como guardiões do acesso de companhias petrolíferas internacionais a hidrocarbonetos. (HELLER; MIHALYI, 2016, p.2, tradução própria)

Quadro 1 - Tipos de Empresas do Setor do Petróleo

Tipo	Operação/ Reservas/ Produção global	Localização / Exemplo / Segmento	
Companhia Petrolífera Nacional NOCs (National Oil Company)	Operação doméstica Pouco menos da metade da produção global de petróleo bruto* e possuem ainda bem mais em reservas	<i>Oriente Médio:</i> Saudi Aramco (SAU) <i>(Integrada)</i> G # NIOC (IRA) G BasraOilCompany(IRQ)G Qatar Petroleum (QAT) G ADNOC (ARE) G BAPCO (BAH) M <i>Rússia e Cáspio:</i> KPC (KWT) G # Uzbekneftegaz (UZB) M SOCAR (AZE) M KazMunayGaz (KAZ) G Naftogaz (UKR) M Turkmen gaz (TRM) G	<i>América Latina:</i> Pemex (MEX) G # PDVSA (VEN) G Ecopetrol (COL) G Petroamazonas (ECU) M Petroecuador (ECU) M YPF (ARG) G <i>África:</i> NNPC (NGA) G Sonatrach (DZA) G Sonangol (AGO) G NOC Libya (LBY) G <i>Ásia:</i> Pertamina (IDN) G Petrobangla (BGD) M PetroVietnam (VNM) M PetroleumBrunei(BRN)M
Companhia Petrolífera Nacional Internacionalizada INOCs (National Oil Company Internationalized)	Operações domésticas Grandes operações internacionais Grandes investimentos em <i>upstream</i> fora do país de origem, geralmente em parceria com NOCs anfitriões ou empresas privadas 13% da produção global*	<i>Oriente Médio:</i> ENOC (ARE) IPIC (ARE) ADNOC (ARE) <i>Rússia e Cáspio:</i> Rosneft (RUS)# Gazprom (RUS)# <i>Europa:</i> Equinor (NOR) Orsted (DNK)	<i>América Latina:</i> Petrobras (BRA)# <i>Ásia</i> CNPC (CHN)# Sinopec Group (CHN) <i>(Integrada)</i> # CNOOC (CHN)# ONGC (IND)# Petronas (MYS)# PetroChina (CHN) PTT (THA)
Empresa internacional de petróleo IOC (Major)	Compram petróleo para suas operações de refino Grandes projetos intensivos de capital em parceria com outras NOCs e INOCs 13% da produção global* 12% das reservas	7 grandes empresas BP (GBR) <i>(Integrada)</i> + Chevron (USA) <i>(Integrada)</i> + ExxonMobil (USA) <i>(Integrada)</i> + Shell (GBR) <i>(Integrada)</i> + Total (FRA) <i>(Integrada)</i> + ConocoPhillips (USA) + Eni (ITA) +	
Companhia Independente	Operação em campos em declínio, de tamanho médio ou áreas de fronteira 28% da produção global*	Espanha: Repsol+ EUA: Marathon, Apache e Hess Brasil: Queiroz Galvão, Eneva Petroreconcavo,	Russia: Lukoil+ Conglomerados diversificados com atividades <i>upstream</i> : Mitsubishi Corp.
Empresas de serviços <i>upstream</i>	Engenharia de perfuração, gerencia de reservatórios, construção de infraestrutura, desenvolvimento de inovações tecnológicas para desbloqueio de recursos	Schlumberger (FRA) Baker Hughes (USA)	
Empresas de <i>downstream</i>	Operam refinarias e redes de varejo	Marathon Petroleum (USA) Phillips 66+ (USA)	Valero Energy (EUA) Delek US (EUA)
Empresas comerciais <i>midstream</i>	Comércio físico de derivados. Investem em ativos de transporte, refino, distribuição e armazenamento	Vitol (DEU) Glencore (GBR-CHE) Enable MP (EUA) Kinder Morgan (USA)	Seacor Holdings (USA) Teekay (AUS, BRA, ...) Western Gas (AUS)
G - grande M - média # 10 principais NOCs + 10 principais companhias petrolíferas internacionais <i>Integrada</i> - empresa cujos negócios consistem em uma mistura de atividades <i>upstream</i> , <i>midstream</i> e <i>downstream</i> * Esses volumes incluem a participação acionária de cada tipo de empresa em projetos <i>upstream</i> , mesmo quando outro tipo de empresa opera o campo			

Fonte: Elaboração própria a partir de IES(2020) e Natural Resource Governance Institute (2019)

Segundo a IEA(2020-b), existem NOCs com autonomia estratégica e operacional que funcionam como entidades empresariais e não como extensões dos governos dos seus países. Conciliam foco no lucro e objetivos dos seus países nas suas estratégias empresariais. Esta categoria inclui a Petrobras (Brasil) e a Statoil (Noruega).

As redes constituídas por operadores e fornecedores, via de regra, são integradas também por universidades e instituições de pesquisa que podem atuar como desenvolvedores de tecnologias demandadas pela indústria. As empresas de *downstream* puras, as comerciais e as de serviços desempenham papéis significativos na indústria de petróleo e gás e sua resposta é importante nas transições energéticas. Existem algumas NOCs de alto desempenho, mas muitas são mal posicionadas para se adaptar às mudanças na energia global dinâmica. Já em relação às *Majors*, embora a indústria seja muito maior, têm uma influência descomunal nas suas práticas e direção.

A indústria de petróleo e gás inclui uma mistura muito diversificada de estruturas corporativas e modelos de governança, englobando desde pequenas empresas até algumas das maiores corporações do mundo. Os riscos e oportunidades das transições energéticas variam amplamente em todo esse espectro. (IEA, 2020, p.16, tradução própria).

As empresas competem pelo acesso aos direitos minerais concedidos pelos governos por meio de contratos de concessão, nos quais qualquer petróleo e gás descobertos são de propriedade dos produtores ou de acordos de partilha de produção, onde o governo mantém os direitos de propriedade e participação. O Brasil, por exemplo, adota os regimes de concessão e partilha. Na concessão, o contratado assume o risco exploratório, e, em caso de êxito tem a obrigação de produzir, detendo a propriedade do petróleo e gás descobertos e extraídos, pagando os encargos relativos aos tributos e participações governamentais. (BRASIL, 1997). O regime de partilha da produção é o mais comum nas áreas com grandes reservas, nele o operador assume os custos e os riscos da exploração. Em caso de sucesso exploratório, o governo e a empresa contratada compartilham o lucro. Os royalties são pagos pelo direito de exploração e comercialização, parte da tributação, são devidos pela empresa ao governo em qualquer modalidade de contrato. A Petrobras tem a preferência para ser operadora, visando à preservação do interesse nacional e ao atendimento dos demais objetivos da política energética. Segundo dados da ANP (2021-b), a Petrobrás é a operadora que produz maior quantidade de petróleo no Brasil, 93,8%, em seguida a Total E&P do Brasil é responsável por 1,8%, a Shell Brasil por 1,2%, a Petro Rio Jaguar por 0,6% e outros operadores somam juntos 2,6%. Em dezembro de 2021, a Petrobras operava 93% das áreas produtivas, sendo operadora exclusiva em 31,2% delas.

Segundo dados do Statistical Review of World Energy 2021, da British Petroleum, fonte de dados internacionais utilizada pela Agência Nacional de Petróleo para elaboração do seu Anuário Estatístico, os maiores produtores mundiais de petróleo em 2021 foram os países elencados no Quadro 2:

Quadro 2 – Maiores Produtores Mundiais de Petróleo em 2021

Posição	País	Milhões de toneladas/ano	Participação na Produção Mundial
1	EUA	712,7	17,1 %
2	Rússia	524,4	12,6 %
3	Arábia Saudita	519,6	12,5%
4	Canadá	252,2	6,1%
5	Iraque	202,0	4,8%
6	China	194,8	4,7%
7	Emirados Árabes	165,6	4,0%
8	Brazil	159,2	3,8%
9	Iran	142,7	3,4%
10	Kuwait	130,1	3,1%
11	México	95,1	2,3%
12	Noruega	92,0	2,2%
13	Nigéria	86,9	2,1%
14	Kazakhstão	86,1	2,1%
15	Qatar	75,9	1,8%
16	Angola	64,5	1,5%
17	Algeria	57,6	1,4%
18	Reino Unido	48,1	1,2%
19	Colômbia	41,3	1,0%
20	Indonésia	36,4	0,9%

Fonte: Elaboração própria a partir do BP Statistical Review of World Energy 2021

O petróleo permanece como a principal fonte de energia na matriz energética mundial, mas “a transição energética está acelerada, com impactos profundos no mercado e na indústria global de petróleo” (NATURAL RESOURCE GOVERNANCE INSTITUTE, 2022). Fruto dessa nova realidade, empresas do ramo do petróleo tem alterado o foco das suas atividades nos últimos anos para passar a operar no setor de energia.

“Algumas das grandes empresas de petróleo e gás fizeram movimentos estratégicos e de investimento para diversificar seus negócios além do foco principal de fornecimento de petróleo e gás, bem como para reduzir a pegada ambiental e aumentar a eficiência das operações.” (IEA, 2020). Um exemplo dessa mudança, é a integração da geração de eletricidade no negócio de petróleo e gás. A seguir serão abordados os exemplos da BP e da atual Statoil, antiga Equinor.

A BP, que tem sede no Reino Unido, apresentou no relatório anual de 2020, o seu desempenho durante a transformação de Empresa Internacional de Petróleo – IOC (*International Oil Company*) para Empresa Integrada de Energia – IEC (*Integrated Energy Company*), ressaltando sua interface com as novas demandas energéticas e ambientais:

Este é um passo importante e necessário para apoiar nosso propósito de reinventar a energia para as pessoas e nosso planeta, e nossa ambição de nos tornarmos uma empresa net zero até 2050 ou antes e ajudar o mundo a chegar ao net zero. Depois de mais de um século definido por petróleo e gás por meio de dois negócios principais, *upstream* e *downstream*, definimos nossa estratégia para nos tornarmos uma empresa de energia muito diferente na próxima década. [...] Teremos como objetivo reduzir drasticamente o carbono em nossas operações e em nossa produção, e desenvolver novos negócios, produtos e serviços de baixo carbono. Defenderemos o progresso fundamental e rápido em direção às metas climáticas de Paris e buscaremos ser líderes do setor na transparência de nossos relatórios. (BP, 2020-b, p.1-2, tradução própria)

Os novos planos da BP mantêm o foco no petróleo, gás e refino e englobam a ampliação dos negócios de energia de baixo carbono, transformação da oferta de mobilidade e conveniência para o cliente e reduzir as emissões em busca do net-zero (zerar as emissões de gases do efeito estufa), refletindo uma aderência aos propósitos definidos nas COPs.

Em 2018, a petroleira norueguesa Statoil passou a ser nomeada como Equinor e uma empresa internacional de energia. Além do foco no petróleo, a empresa atuava há algum tempo com energias renováveis, especificamente parques eólicos e energia solar.

A Equinor estabeleceu ambições claras para o futuro. Nosso propósito é ser um líder na transição energética, construindo o setor de energia de amanhã e nos tornando uma empresa net-zero. Estamos nos desenvolvendo como uma ampla empresa de energia fundada em um forte compromisso com a sustentabilidade e cumprindo nossa estratégia – sempre segura, de alto valor e baixo carbono. (EQUINOR, 2020, p.3, tradução própria)

A Statoil foi fundada em 1972 como uma empresa estatal norueguesa de petróleo e com o nome Den Norske Stats Oljeselskap AS. Seu capital foi aberto nas bolsas de valores da Noruega e de Nova York em 2001. Em 2007 ocorreu a fusão com a divisão de petróleo e gás da Hydro. A Statoil estava presente em mais de 30 países. O conselho de administração da Statoil propôs a mudança do nome da empresa para Equinor, o novo nome apoia a estratégia e o desenvolvimento da empresa como uma ampla empresa de energia. (STATOIL, 2017)

Considerando outros países, devido a sua representatividade no setor do petróleo mundial, é essencial conhecer como está a configuração do setor do petróleo na China. As três principais companhias petrolíferas chinesas são: Companhia Nacional de Petróleo da China (CNPC), o Sinopec Group e a China National Offshore Oil Corporation (CNOOC), fundadas em 1982 com a reforma do setor petrolífero da China.

Essas companhias são nacionais de propriedade integral do governo e juntas dominam a indústria petrolífera chinesa, responderam por mais de 90% da produção de petróleo e operam cerca de 60% da capacidade de refino da China. Possuem subsidiárias com os mesmos nomes que detêm a maioria dos ativos *upstream* e *downstream* de suas empresas-mãe e publicam mais informações sobre seus perfis de emissões do que suas matrizes. O Sinopec Group detém a maior refinaria do mundo em capacidade. A PetroChina, subsidiária da Companhia Nacional de Petróleo da China (CNPC), é a

maior empresa petrolífera da China, a maior do mundo em valor de mercado, a terceira maior produtora de petróleo e gás de capital aberto do mundo e a terceira maior empresa de refino de capital aberto. [...] PetroChina e Sinopec são atores importantes da indústria mundial de petróleo e gás natural, o que lhes confere um papel a desempenhar em sua descarbonização. [...] Os principais executivos dessas companhias são nomeados pelo Partido Comunista da China e suas metas de energia e clima são definidas mediante as prioridades políticas de Pequim, que na área ambiental, ambiciona alcançar a neutralidade de carbono até 2060 (DOWNS, 2021, p.10 e 15, tradução própria)

Os principais *players* da indústria do petróleo possuem maior capacidade de influenciar o setor na adoção de novas tecnologia e rumo a uma melhor atuação do ponto de vista ambiental.

As preocupações sociais e ambientais sobre os projetos tradicionalmente se concentram nos impactos locais, incluindo o potencial de poluição do ar, bem como a contaminação das águas superficiais e subterrâneas. Nos últimos anos, o aumento das emissões globais intensificou o escrutínio da indústria também em bases ambientais mais amplas, especialmente na Europa e na América do Norte. Isso também se reflete no maior envolvimento de investidores em empresas de petróleo e gás listadas em riscos relacionados ao clima e restrições em algumas áreas ao acesso ao financiamento. Os principais pontos de pressão são os mercados capitais e questões ambientais locais combinadas com um esforço para manter os combustíveis fósseis no solo, aumentando a oposição a novos projetos de infraestrutura de petróleo e gás em alguns países e regiões. O resultado tem sido processos de licenciamento demorados e litígios que levam a atrasos nos projetos, custos excessivos até ao cancelamento. (IEA, 2020-a, p.34, tradução própria)

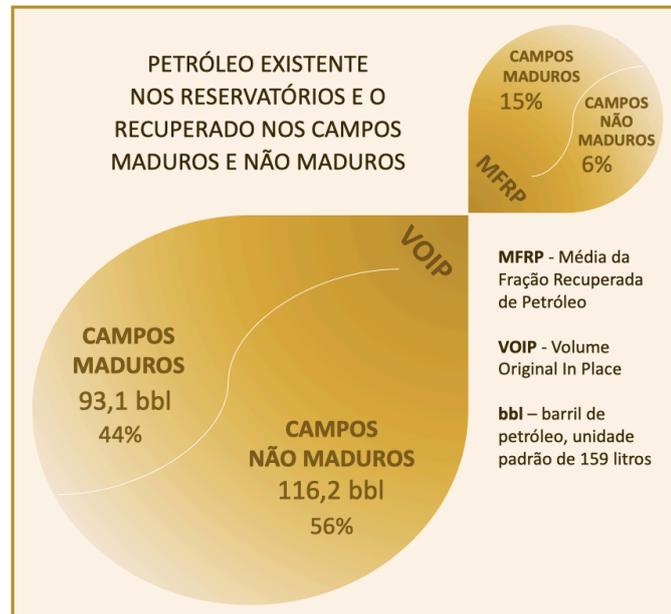
As atividades de exploração e de desenvolvimento de campos, além de caras e de risco, encontram-se na contramão dos requisitos ambientais que apresentam restrições a novas instalações para produção de petróleo, embora os principais produtores venham apresentando resistência em definir limites para a produção de petróleo e gás. Adicionalmente, uma preocupação do setor do petróleo é o declínio da produção dos poços já instalados.

A taxa de declínio refere-se à redução percentual na produção real de um campo individual ou de um grupo de campos ao longo do tempo e pode variar substancialmente entre os diferentes tipos de campos, de acordo com seu tamanho, maturidade, localização, geologia, geoquímica e estratégia de desenvolvimento. [...] No caso de nenhum campo novo ser desenvolvido, as taxas de produção caem para seus níveis de declínio naturais, se não houver novos investimentos. [...] Com investimento apenas nos campos existentes, todas as fontes atuais diminuem e há a perda anual de oferta. [...] A taxa média anual global de declínio foi estimada em cerca de 8%, indicando a queda que ocorreria na produção dos campos ativos se o investimento de capital cessasse imediatamente. [...] A taxa de declínio pós-pico foi estimada em cerca de 6,1%, quantificando o declínio anual na produção de campos que atingiram o pico de produção, com a continuidade do investimento de capital. [...] Caso nenhum novo campo de petróleo fosse aprovado além dos já em desenvolvimento, a perda média anual de oferta até 2040 seria da ordem de 4% (IEA, 2020, p. 82, tradução própria)

No caso do Brasil em dezembro de 2021, segundo dados da ANP, os campos em bacias maduras foram responsáveis por 2% da produção total de petróleo, equivalentes a 70,733 milhões de barris/dia do total produzido de 2,838 bilhões de barris/dia. Por outro lado, a produção do Pré-sal correspondeu a 73,8% da produção total. (ANP, 2021, p. 2 e 3). Para

melhor compreensão da capacidade de recuperação do Volume Original In Place (VOIP), ou seja, da quantidade de petróleo existente no reservatório na época da sua descoberta, segue a Figura 1 com números relativos a 2020.

Figura 1 – Petróleo Existente e Recuperado nos Campos do Brasil



Fonte: Elaboração própria a partir do Anuário Estatístico ANP 2021

O percentual médio do petróleo recuperado é menor nos campos não maduros, 6%, do que nos campos maduros, dos quais foram extraídos 15% do volume existente. Contudo, os campos maduros possuem 44% do volume de petróleo existente nos reservatórios e têm a fração média de recuperação de 15%, maior que os 6% dos campos não maduros, que respondem por 56% do VOIP. Especificamente no Brasil, calcula-se que foi explorada uma porcentagem relativamente pequena do petróleo original de muitos campos, indicando o grande potencial de aumento do volume de extração de petróleo das reservas existentes, considerando-se as características do incremento de fatores de recuperação através processos biotecnológicos que não são explorados pelas técnicas convencionais de recuperação de petróleo. (ALMEIDA; RAMOS-DE-SOUZA, 2010)

A demanda mundial por combustíveis fósseis ainda é a principal, mesmo com o crescimento das energias renováveis, e, atender a essa demanda com atenção ao impacto ambiental causado por essa indústria tem sido uma preocupação atual. Farajzadeh et al (2021) diz que a descoberta de novos campos significativos de petróleo e gás vem se tornando menos frequente e a extração eficiente de petróleo dos campos existentes [...] tornou-se essencial para atender a demanda global de energia.

Por fim, as taxas de declínio de produtividade dos poços aliada à imagem das companhias frente ao seu posicionamento ambiental desfavorável a novas instalações são desafios para o setor do petróleo. Por outro lado, essa é uma oportunidade para a difusão de novas tecnologias que aumentem o fator de recuperação dos reservatórios existentes sem causar impactos ambientais significativos. A MEOR possibilita a redução da geração de efluentes de água produzida e das emissões de CO₂ e aumenta o fator de recuperação do petróleo, tornando-se então relevante compreender melhor como a MEOR pode impactar a indústria do petróleo em relação a esses pontos críticos.

2.2.2 A Recuperação Avançada De Petróleo Por Ação Microbiana (MEOR)

A Recuperação Avançada De Petróleo Por Ação Microbiana (MEOR) é uma das técnicas de recuperação terciária de petróleo e consiste na injeção de microrganismos ou bioprodutos específicos nos poços, para facilitar a liberação do petróleo e aumentar o fator de recuperação. Segundo Nikolova e Gutierrez (2019, p.3) e Althalb *et al.* (2021), a utilização da MEOR na fase terciária pode levar à recuperação de até 50% do óleo residual em um reservatório. Embora seja mais comum introduzi-la no estágio terciário de recuperação, a MEOR pode ser utilizada para recuperação de óleo durante o estágio secundário (RAMOS-DE-SOUZA *et al.*, 2022), [...] ou seja, para melhorar o rendimento dos métodos de recuperação secundária. (ALMEIDA; RAMOS-DE-SOUZA, 2010). Quando comparadas às técnicas térmicas, a MEOR é considerada econômica por vários motivos, como, por exemplo, o consumo de energia (NWIDEE *et al.*, 2016). O custo do método EOR torna-se econômico quando comparado ao custo de abertura de novos poços por aproveitar as instalações disponíveis nos campos já estruturados (FARAJZADEH *et al.*, 2021) e a MEOR segue esse mesmo padrão. Os ganhos ambientais e de eficiência proporcionados pela MEOR têm sido comprovados e reconhecidos, resultado importante para posicioná-la frente ao crescente papel de destaque das energias renováveis como novas fontes de energia.

A MEOR, segundo Adkins *et al.* (1992), é uma tecnologia biológica desenvolvida para otimizar a produção de petróleo bruto retido em rochas de reservatórios maduros ou marginais. A sua origem é atribuída ao método de utilização de microrganismos para a recuperação de óleo em meio poroso concebido pelo biólogo J. W. Beckman em 1926 nos Estados Unidos e publicado na Revista *Industrial Engineering Chemistry* através do artigo *The Action of Bacteria*

on *Mineral Oil MEOR* (YONEBAYASHI, 2000; OSUNDE; BALOGUN, 2013; YERNAZAROVA *et al.*, 2016). O Quadro 3 apresenta o histórico da tecnologia MEOR.

Quadro 3 – Histórico da Tecnologia MEOR

Ano	Evento
1926	J. W. Beckman propôs a utilização de microrganismos para recuperação terciária de óleo em meio poroso (LAZAR <i>et al.</i> , 2007).
1926 a 1946	C. E. Zobell e seus colegas realizaram vários testes em laboratório com bactérias redutoras de sulfato para recuperação avançada de petróleo.
1947	Primeira patente da tecnologia MEOR, pedida por Clode E. Zobell e outros (YERNAZAROVA, 2016) que estabeleceram as bases da microbiologia do petróleo utilizando uma mistura de areia e calcário triturado, saturada com óleo cru e posteriormente inoculada com suspensão bacteriana.
1954	Primeiro teste aplicado em campo com êxito, no campo de Lisboa, Arkansas, EUA (YERNAZAROVA, 2016).
1957	Primeira patente MEOR concedida a Updegraff e colegas sobre a produção <i>in situ</i> de agentes de recuperação de petróleo, como gases, ácidos, solventes e biossurfactantes da degradação microbiana do melão.
1958	Heinzingen sugeriu a ideia de recuperação do tamponamento seletivo.
1973	Crise do petróleo estimulou o maior interesse pela MEOR em mais de 15 países, principalmente Estados Unidos e a ex-URSS, o que contribuiu para o aumento de pesquisas sobre o assunto.
1976	Governo da Ex-URSS promulgou um regulamento especial "[...] relativo a medidas para alcançar os processos de recuperação de petróleo mais eficientes."
1970 a 2000	Focos das pesquisas sobre MEOR em ecologia microbiana e a caracterização de reservatórios.
1990	A MEOR alcançou o status de tecnologia interdisciplinar.
1995	Portwood analisou a eficiência técnica e econômica do processo MEOR.
2007	Revisão de 322 projetos MEOR aplicados em campo nos EUA.
2010	1º teste em campo foi realizado no Brasil, no campo de Carmópolis, onde foram perfurados 10 poços, com 70% de êxito no projeto.
2015	2º teste em campo foi realizado no Brasil no campo de Baixa do Algodão, localizado no Rio Grande do Norte. Projeto não obteve sucesso.

Fonte: Gonçalves, J. A. e Simões, L. S.

Após Beckman, experimentos laboratoriais realizados por Zobell em 1947 para recuperação de óleo, incluindo subprodutos bacterianos feitos com substratos como o melão, demonstraram que existe semelhança entre os compostos utilizados para aumentar a eficiência da injeção de água em processos EOR químicos e os produtos resultantes da fermentação microbiana de carboidratos.

Em 1954, foi aplicado o primeiro teste no campo de Lisboa, Union Country, Louisiana, EUA. Na década de 1970, a crise do petróleo provocou um aumento considerável de pesquisas e aplicações de campo em vários países, principalmente na antiga União Soviética e nos Estados Unidos. (OSUNDE; BALOGUN, 2013; YERNAZAROVA *et al.*, 2016).

O aprimoramento tecnológico da MEOR tem ocorrido por meio de inovações feitas em laboratórios de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), testes em laboratório e testes de aplicações em campo.

2.2.2.1 Componentes, Métodos e Produtos da MEOR

Os processos MEOR são compostos por dois elementos básicos: microrganismos e nutrientes. Segundo Almeida e Ramos-de-Souza (2010), os mecanismos pelos quais a MEOR funciona podem ser muito complexos por envolver múltiplos processos bioquímicos:

Tecnologias microbianas têm sido mundialmente aceitas como tecnologias comercialmente competitivas e ambientalmente sustentáveis que aumentam a produção de petróleo. Os microrganismos produzem uma variedade de produtos que modificam propriedades desfavoráveis de diferentes tipos de petróleo e aumentam a recuperação. Tais produtos microbianos podem provocar a dilatação do óleo cru e reduzir a sua viscosidade, alterar a molhabilidade da superfície da rocha, diminuir a tensão superficial e formar emulsões óleo-água estáveis melhorando a sua mobilidade e as propriedades de transporte. (ALMEIDA; RAMOS-DE-SOUZA, 2010, p.3)

A MEOR envolve a estimulação de micróbios nativos do reservatório ou a injeção de consórcios de bactérias especialmente selecionadas com o objetivo de obter produtos metabólicos específicos e desenvolver mecanismos de melhoria da recuperação de petróleo. (ALMEIDA; RAMOS-DE-SOUZA, 2010). Os microrganismos produzem vários bioativos que interferem nas características químicas do óleo e físicas dos reservatórios [...] (SEN, 2008; GUO *et al.*, 2015). Os bioativos são classificados em sete grupos principais: biossurfactantes, biomassas, biopolímeros, biossolventes, bioácidos, biogases e emulsificantes. (ANDRADE; PASTORE, 2016; PATEL *et al.*, 2015; SAFADEL *et al.*, 2017). Cada tipo de metabólito é produzido por determinado microrganismo e possui aplicação específica como emulsificação, redução relativa da viscosidade do óleo e de tensão interfacial (IFT) entre água/óleo. Os emulsificantes são responsáveis pela formação de uma emulsão estável com o hidrocarboneto (PATEL *et al.*, 2015). Os biogases contribuem para a repressurização do reservatório. Os bioácidos e solventes dissolvem determinadas partes da rocha-reservatório, aumentando a sua porosidade e permeabilidade e, conseqüentemente, reduzindo o óleo retido. (LEE *et al.*, 2018).

Os biossurfactantes são utilizados com frequência na recuperação aprimorada de óleo (ASTUTI *et al.*, 2019) visando reduzir a tensão superficial (ST) e a tensão interfacial (IFT) (AL-WAHAIBI, 2014) para formar emulsões estáveis de óleo e água, facilitando a mobilidade do óleo residual (FIECHTER, 1992) e o aumento da permeabilidade relativa do reservatório ao óleo, alterando a molhabilidade (STEPP *et al.*, 1992). Eles são aplicados em MEOR visando a mobilização do óleo nas rochas mediante: redução de IFT, alteração da molhabilidade das rochas e emulsificação do petróleo cru (SEN, 2010). Apresentando um resultado muito maior em laboratório, a MEOR à base de biossurfactante recuperou mais de 95% do óleo superior em experimentos de colunas de areia (BANAT, 1995).

O número de estudos sobre a aplicação da MEOR formulada com biossurfactantes supera o de estudos com outros metabólitos, sobretudo com biopolímeros solúveis em água. (LEE *et al.*, 2020). Contudo, uma conclusão consensual de pesquisas publicadas entre os anos 1983 a 2019 é que os biossurfactantes de baixo peso molecular podem ser menos eficientes do que os biopolímeros macromoleculares (NIKOLOVA; GUTIERREZ, 2020).

Os biopolímeros contribuem para melhorar a recuperação de óleo diminuindo a permeabilidade do reservatório e aumentando a viscosidade da água, o que melhora a razão de mobilidade. Por isso, são usados, principalmente, para obstrução seletiva de zonas de ladrão de alta permeabilidade. [...] Um dos biopolímeros utilizados frequentemente é a goma xantana devido a sua vulnerabilidade à degradação microbiana. Microrganismos compatíveis com o sal, sejam aeróbios ou anaeróbios têm o potencial de degradar as cadeias da goma xantana, resultando na diminuição de viscosidade (NWIDEE, 2016).

A maior viscosidade do polímero em relação à água leva a extração mais eficiente do óleo. Os mecanismos básicos de recuperação de óleo através de injeção de polímero são: aumento da viscosidade da água, diminuição da permeabilidade efetiva à água, diminuição da relação de mobilidade água/óleo, visando uma melhor eficiência da varredura macroscópica. (NWIDEE, 2016). Sendo que o alvo principal é a diminuição da razão de mobilidade água/óleo.

[...] a injeção de polímero com ou sem surfactante pode reduzir consideravelmente a intensidade de CO₂ dos projetos de injeção de água em campos maduros, diminuindo o volume de água produzida. [...] A injeção de polímeros em reservatórios com grande corte de água pode ser uma solução para dois grandes desafios do período de transição energética: (1) atender a demanda global de energia por meio do aumento da recuperação de petróleo e (2) reduzir a intensidade de CO₂ do óleo produzido (mais energia e mais limpa). [...] Em exemplos de campo, um barril de petróleo produzido por injeção de polímero tem 2 a 5 vezes menos CO₂ em comparação com o óleo produzido por injeção de linha de base.” (FARAJZADEH *et al.*, 2021, p.1)

A injeção de polímero reduz a mobilidade da fase de deslocamento e resulta na redução do corte de água. Seu uso é vantajoso do ponto de vista ambiental quando comparado à injeção de água aplicada na fase secundária. Segundo Farajzadeh *et al.* (2021), devido à produção adicional de petróleo e menor circulação de água emprega-se menos energia para produzir um barril de petróleo a partir de injeção de polímero do que com a injeção prolongada de água. A injeção de polímero reduz o corte de água, levando à diminuição das emissões de CO₂.

Quanto aos métodos, a MEOR pode ser aplicada *in-situ* ou *ex situ*, conforme a técnica de injeção de microrganismos e nutrientes no reservatório. Ambos se assemelham quanto ao objetivo final e são considerados capazes de criar as condições necessárias para a mobilização do óleo no reservatório, além de agirem para diminuir a imiscibilidade do óleo em água, a sua

viscosidade e o tamanho das moléculas, bem como para dissolver minerais como argilas e carbonatos presentes no óleo. (PATEL et al., 2015; AL-SULAIMANI et al., 2011; GRAY et al., 2008). Ambos os métodos “resultam na produção de metabólitos, que se diferenciam a depender dos tipos de microrganismos e nutrientes utilizados como agentes estimuladores no processo”. (YERNAZAROVA et al., 2016).

A MEOR *in-situ* e a *ex situ* se distinguem quanto ao sistema de injeção nos reservatórios, as taxas médias de eficiência da recuperação e a viabilidade econômica. A escolha do método a ser adotado depende, entre outros fatores, da localização, das características do reservatório, dos fluidos nele presentes, do que se pretende utilizar na injeção, dos custos de produção, dos preços do barril de petróleo, entre outros.

O método MEOR *in situ* consiste em injetar nutrientes para estimular as bactérias indígenas presentes e/ou microrganismos exógenos diretamente no reservatório para produção de bioativos. O êxito depende do desenvolvimento de consórcios de microrganismos capazes de produzir os metabólitos esperados nos reservatórios que contém hidrocarbonetos e água salina [...] para o aumentar a mobilização de óleo residual no reservatório e reduzir a sua viscosidade. (SEN, 2008). Na técnica *huff and puff*, o poço é fechado e os microrganismos, indígenas ou injetados, proliferam dentro do poço de petróleo e produzem diferentes bioprodutos que levam à recuperação de óleo (ALMEIDA et al., 2004; SEN, 2008; PATEL et al., 2015).

A MEOR *in situ* pode ser aplicada em ambientes bacterianos aeróbios e anaeróbios. Em ambientes anaeróbios, a ausência de oxigênio na formação do óleo diminui significativamente a sua velocidade de mobilização (SUNDE, 1992). Em ambientes aeróbios, o oxigênio pode ser fornecido através dos fluidos de perfuração ou injeção de água. Outra maneira, desenvolvida pela empresa Royal Dutch Shell, consiste na injeção de perclorato que é reduzido pelas bactérias para produzir oxigênio *in situ* (Patente WO 2011076925). (ZAHNER et al., 2010).

O método *in situ* é provavelmente o mais viável economicamente, uma vez que, além de utilizar a infraestrutura dos poços já montada, não requer instalações para o cultivo de micróbios. Contudo, o seu grau de viabilidade econômica depende dos biomas microbianos existentes, da seleção de nutrientes adequados e das técnicas de injeção utilizadas para estimular as bactérias (VOLK; HENDRY, 2010).

Embora as aplicações MEOR tenham privilegiado as tecnologias *in situ*, nas quais microrganismos são injetados ou estimulados no interior do reservatório, mais recentemente

tem sido dada atenção às tecnologias *ex-situ* nas quais os microrganismos produzem metabólitos fora do reservatório para serem neles injetados (RAMOS-DE-SOUZA *et al.*, 2021). O método *ex situ* é baseado no desenvolvimento de determinadas culturas microbianas em laboratório, com água e nutrientes, para a produção de bioativos que serão injetados no reservatório para mobilizar o óleo residual. O método *ex situ* admite microrganismos exógenos e indígenas que, de acordo com Yernazarova *et al.* (2016), são cultivados em fermentadores industriais ou plantas móveis e, em seguida, injetados na formação de óleo em soluções aquosas. Visando o aumento da viabilidade econômica e a eficiência produtiva, novas tecnologias MEOR têm sido desenvolvidas agregando processos baseados na produção de biossurfactantes em reatores para posterior injeção em reservatórios. As condições de laboratório devem ser equivalentes às do ambiente original do microrganismo escolhido. A cultura microbiana e os metabólitos, como biossurfactantes e polímeros, resultantes do processo são injetados no reservatório para mobilizar o óleo residual (GEETHA *et al.*, 2018).

O método *ex situ* apresenta:

[...] três vantagens, a primeira é que a aplicação em campo pode ser gerenciada e controlada diretamente por operadores de reservatório. A segunda é a maior produtividade da recuperação de petróleo devido ao curto tempo de aplicação, comparado com o método *in situ*, tem maior eficiência de varredura em um período de tempo mais curto. Por último, esse método é considerado uma alternativa mais sustentável e econômica do que os surfactantes químicos (JOSHI; DESAI, 2013; PATEL *et al.*, 2015; SARAFZADEH *et al.* 2014).

O conhecimento acerca do método *ex situ* foi ampliado a partir da primeira década dos anos 2000, porém, ainda existem muitas lacunas que precisam ser esclarecidas, sobretudo quanto ao impacto na recuperação do óleo, quando comparado ao método *in situ*.

Os custos de produção de tecnologias MEOR ainda são considerado altos, embora sejam menores que os das tecnologias baseadas em produtos químicos (SAIKIA *et al.*, 2013; SAFDEL *et al.*, 2017; WOOD, 2019), o que dificulta a produção em escala industrial. Estudos mostram que o custo de produção de biossurfactantes é mais alto do que o dos surfactantes químicos. Esta restrição afeta diretamente o desempenho econômico do método *ex situ* e o torna menos rentável do que o método *in situ*. Contudo, os estudos podem ser considerados insuficientes para generalizar que todas as formulações *ex situ* dependam de custos elevados.

Entretanto, várias estratégias como o uso de matérias-primas mais baratas, otimização de componentes de mídia, processos de fermentação à jusante, uso de hiper produtores vêm sendo desenvolvidas para melhorar a economia da produção de biossurfactantes (GEETHA, *et al.*, 2018). Segundo Pornsunthorntawwee *et al.* (2008), uma alternativa para resolver essa

dificuldade é incorporar nutrientes em sua forma bruta. Os custos de extração e purificação representam mais de 60% do custo total de quaisquer produtos de fermentação, inclusive dos biossurfactantes. Usar matérias-primas mais baratas, biossurfactantes em forma bruta, sem purificação extra e muitas vezes sem a necessidade de remover as células microbianas também reduzem o custo de produção para aplicações MEOR *ex situ*.

Neste sentido, Ramos-de-Souza et al. (2022) avançaram no estudo do método *ex situ* com o desenvolvimento de uma nova tecnologia MEOR, na qual os pesquisadores sugerem o uso da água produzida sem tratamento e glicerina bruta como meio de cultura para a produção de goma xantana. Esse estudo fez um comparativo de eficiência entre os polímeros xantana de água produzida (PWX) e Sigma TM Xanthan Gum (SXG), a partir de um experimento de laboratório no qual a PWX foi sintetizada por *Xanthomonas Campestris* em meio de cultura contendo água produzida em poços de petróleo e glicerina bruta. A água produzida e a glicerina bruta são resíduos dos processos de recuperação de petróleo e da produção de gás natural, respectivamente.

O uso da água produzida como matéria prima para a MEOR é uma grande vantagem, além da redução de custos, se configura uma possibilidade de remediação do cenário no qual o corte de água de campo está correlacionado com a quantidade de CO₂ oriundo da produção de petróleo por injeção de água. Farajzadeh et al. (2021) lembra que a água produzida deve ser tratada antes da reinjeção ou descarte, e, com o aumento das regulamentações ambientais cada vez mais água produzida está sendo reinjetada.

Em alguns locais, a água produzida contém um grande número de sólidos suspensos e gotículas de óleo e foi considerada mais difícil de reinjetar do que a água do mar filtrada. Suspeita-se que o crescimento bacteriano nesses sistemas cause mais problemas. [...] a qualidade microbiológica da água tem de ser uma preocupação para resolver estes problemas. (FARAJZADEH *et al.*, 2021, p.5)

Almeida (2010) ressalta que antes da aplicação da MEOR são necessários estudos de laboratório e testes piloto para avaliar a sua performance em situações próximas das condições reais. Tais estudos são, geralmente, realizados em ensaios laboratoriais usando-se colunas e rochas para avaliar o potencial da movimentação de óleo pelos microrganismos antes da aplicação em campo. Isto explica por que em alguns casos a aplicação da tecnologia MEOR em campo não responde satisfatoriamente.

A MEOR é considerada eficiente na maioria dos testes em laboratório e de campo, conforme relatam muitas publicações. Os resultados obtidos nos testes de laboratório variam entre 10 e 85% de recuperação. Por outro lado, vários estudos relatam que as aplicações em

campo recuperaram entre 3 a 10% de óleo, o que consideram satisfatório (GEETHA, BANAT e JOSHI, 2018). Essa diferença é justificada, porque:

a eficiência da recuperação depende de três tipos de fatores: 1. formação geológica, propriedades físicas e químicas do reservatório: temperatura, permeabilidade, porosidade, pressão, profundidade e molhabilidade; 2. conteúdo bacteriano e 3. características físico-químicas e microbiológicas do óleo: estrutura molecular, viscosidade, salinidade, pH e saturação residual (SEN, 2008; AWAN *et al.*, 2008; NMEGBU, 2014; NIKOLOVA; GUTIERREZ, 2020).

Em laboratório, essas condições são simuladas nos níveis ideais para a recuperação e controladas rigorosamente durante todas as etapas do processo. Já no ambiente natural do reservatório é incerto que as condições sejam ou se tornem adequadas, mesmo que a aplicação tenha sido testada previamente em laboratório.

A literatura destaca algumas limitações da MEOR em termos de aplicação em campo: oxidação e corrosão dos equipamentos, causadas pelas ações de alguns micróbios; acidez do reservatório; tolerância limitada de muitos microrganismos a condições extremas e variáveis do reservatório; possíveis danos à formação (obstrução de poros na rocha). (LAZAR *et al.*, 2007; WOOD, 2019)

Contudo, a redução do suprimento de petróleo em todo o mundo, com a presença de muito óleo nos poços, abre uma janela de oportunidade para as tecnologias MEOR que podem suprir essa lacuna existente na indústria do petróleo. A IEA indica a progressão no declínio da produção dos poços existentes e considera que essa é a chave para a escolha de investimentos futuros pelo setor do petróleo (IEA, 2020). Como a MEOR apresenta resultados positivos quanto ao aumento do fator de recuperação de petróleo, além de possuir um grande potencial de aplicação na atual conjuntura de declínio da produção de poços.

2.2.2.2 Aplicações da Tecnologia MEOR em Campos de Petróleo

Conforme Brown (2010), existem ensaios de aplicação da MEOR em campo em muitos países. Experiências bem-sucedidas ocorreram nos EUA, Rússia, China, Austrália, Argentina, Bulgária, antiga Tchecoslováquia, antiga Alemanha Oriental, Hungria, Índia, Malásia, Peru, Polônia e Romênia (LAZAR *et al.*, 2007; XIA *et al.*, 2011). Os Estados Unidos, por exemplo, desenvolveram 322 projetos MEOR que foram analisados em 2007, sendo 78% do número total bem-sucedidos no aumento da recuperação de óleo. (YERNAZAROVA *et al.*, 2016).

Contudo, a indústria ainda manifesta dúvidas quanto à validade de algumas das afirmações sobre o desempenho da MEOR devido à ausência de relatos detalhados dos estudos de caso publicados. Adicionalmente, os resultados das aplicações variam de acordo com as condições de cada reservatório (VOLK; LIU, 2010). Apesar de ser uma tecnologia antiga, com mais de 100 anos de pesquisa e patenteamento, a MEOR ainda não teve uma aplicação considerável na indústria onde as tecnologias aplicadas na recuperação de petróleo não são microbianas.

Na Figura 2 são indicadas aplicações da MEOR em campo realizadas no período de 1954 a 2020. Nela estão destacados os países e os poços ou campos nos quais ocorreram as aplicações. Nos casos nos quais a literatura consultada não indicava os nomes dos poços ou campos foram atribuídos números. O tamanho dos círculos é proporcional à quantidade de testes relatados nos artigos que foram realizados em cada poço ou campo.

Figura 2. Aplicações de MEOR em Campo no Mundo no período de 1954 a 2020



Fonte: Elaboração própria

Embora as aplicações em campo estejam distribuídas nos cinco continentes, são concentradas em alguns países nos quais empresas e instituições públicas se dedicam as pesquisas, seja por disponibilidade de recursos para financiamento, seja por interesse em avançar na busca de métodos que maximizem a recuperação de petróleo.

O primeiro teste de campo MEOR foi realizado no campo de Lisboa Union Country, Arkansas, em 1954. Desde então, vários testes de campo foram realizados e até 2003, mais de 400 testes de campo MEOR foram conduzidos apenas nos EUA, além de vários outros testes de campo realizados no resto do mundo. (AL-SULAIMANI, 2011, p.153, tradução própria)

Ainda segundo Al-Sulaimani (2011), a maioria dos testes de campo bem-sucedidos foram tratamentos de poço único realizados nos EUA, China, Romênia, Índia, Rússia e Argentina, onde o óleo incremental variou de nenhum impacto a 204%. Estados Unidos, Europa Oriental, Rússia e Holanda realizam ensaios de aplicação da MEOR em campo desde a década de 1950 (PATEL *et al.*, 2015). Entre os anos de 1986 e 2016 mais de 20 países aplicam a MEOR em campo (SONG *et al.*, 2016). Na China, a MEOR foi aplicada em mais de 4.600 poços. (SHE *et al.*, 2019). Nos países da Arábia Saudita, Egito, Kuwait, Qatar, Emirados Árabes Unidos, Iraque e Síria aproximadamente 300 formações foram estudadas para aplicações MEOR (AL-SALIM *et al.*, 2012).

Foram constatados aumentos na recuperação de petróleo na maioria dos casos de aplicação de campo. Os testes no campo Dagang Field, localizado na China, resultaram no incremento de 6 a 8% (FENG *et al.* 2006), no campo La Ventana Field na Argentina, 66% (MAURE *et al.* 2001) e mais de 100% no campo Fuyu Field na China (NAGASES *et al.* 2002). A maioria dos experimentos de aplicação de MEOR realizados em oito países apresentaram resultados positivos de recuperação de óleo, com aumento médio de 7%, quando comparados com injeção de água.

Além do aumento na recuperação de petróleo, em alguns casos, ocorreram a diminuição da produção de água, o aumento da razão gás/óleo e a melhor injetividade aplicada. Segundo Khire e Khan (1994), em alguns campos de petróleo *onshore* dos EUA, um tratamento de estimulação de poço único poderia dobrar a taxa de produção na maioria dos poços e isso poderia ser sustentado por 2 a 6 meses sem tratamentos adicionais. Em 1995, um levantamento de 322 projetos de aplicação MEOR em campo nos EUA mostrou que 81% aumentaram a produção de petróleo com sucesso.

Segundo Mcinerney (2005), entre os anos de 1993 e 2000, muitos poços dos Estados Unidos que produziam menos do que 10 barris de petróleo por dia utilizando métodos químicos de recuperação foram obstruídos definitivamente porque naquele período o baixo preço do petróleo bruto dificultou a geração de lucros com aqueles poços. Desde 1980, a liberação dos poços de baixo rendimento aumentou em 175%, o que permitiu ao país ter acesso a menos de 25% de seus recursos petrolíferos restantes em aproximadamente 20 anos. Já os resultados de uma experiência específica em sistemas fracionados úmidos indicam a eficácia da MEOR em recuperação de óleo, entre 44 e 80% (ARMSTRONG; WILDENSCHILD, 2012).

O Quadro 4 reúne aplicações da MEOR em campo, feitas em vários países, com a indicação do aumento obtido na produtividade dos poços, e na redução da água produzida.

Quadro 4 . Vantagens Econômicas de Aplicações em Campo da MEOR

País, Campo	Autor, Ano	Aumento do Fator de Recuperação	Redução na Água Produzida	Vantagens Econômicas
Former East, Alemanha	Safdel, Daryasafar, Jamialahmadi, Anbaz, 2017	200%	88% a 34%	Não declaradas
Argentina, Campo de Vizcacheras Bacia de Cuyo, Mendoza	Strappa, De Lucia, 2004	26%	Retraiu nos produtores vizinhos do injetor tratado	Custo de desenvolvimento do piloto US \$ 2,87 por barril
				Custo Operacional \$63.200.
				Investimento US\$ 506.000
				Tempo de Retorno, 4,25 anos
Argentina, Reservatório Papagayos Campo de Vizcacheras	Strappa, De Lucia, 2004	20%	Redução de 12%	Reserva incremental estimada 28.100 m ³ , 176.729 bbl.
Argentina Piedras Coloradas	Safdel, Anbaz, Jamialahmadi Daryasafar, 2017	25.8% e 110%	39.1%, 59.5%, 55.6%, 72.8%, 58.7% e 40% em diferentes poços	Não declaradas
Argentina, Tupungato-Refugio project Tupungato County, Medoza	Segovia, Huerta, Gutierrez, 2009 Nnaemeka, Stanley, Franklin, 2018	28,57%	2,36%	Despesas: microrganismos e realização dos tratamentos.
				Sem investimentos ou novos poços, embora possam ser necessários posteriormente com o avanço da produção
				O aumento na produção compensou as despesas e levou ao lucro contínuo.
				Custo médio por barril MEOR adicional US \$ 3,10
Canadá e EUA Titan Project	Marcotte, Govreau, Davis, 2009	127%	Marcotte; Govreau; Davis, 2009	Custo médio incremental por barril inferior a US\$10/bbl (US\$ 20-50/bbl incremental em outros métodos EOR)
China, Xinjiang project Xinjiang Petroleum Administration Bureau	Segovia, Huerta, Gutierrez, 2009 Omoniyi, Abdulmalik, 2015 Nnaemeka, Stanley, Franklin, 2018	36,36%	15,62%	Despesas: microrganismos e realização dos tratamentos.
				Investimentos ou novos poços, podem ser demandados com o avanço da produção
				Aumento na produção compensou despesas e gerou lucro contínuo.
China, Huabei Project	Segovia, Huerta Gutierrez, 2009 Omoniyi, Abdulmalik, 2015	216%	8,57%	Não declaradas
		552%		
EUA, Big Wells Field, San Miguel, Texas	Akintunji, Marcotte, Sheehy, Govreau, 2012	102%	Retração progressiva a partir do tratamento	Não declaradas
EUA Cretaceous Nacatoch, Arkansas	Safdel, Anbaz, Jamialahmadi, Daryasafar, 2017	42%	Não declarado	Não declaradas

País, Campo	Autor, Ano	Aumento do Fator de Recuperação	Redução na Água Produzida	Vantagens Econômicas
EUA Hockley County, Texas	Nnaemeka, Stanley, Franklin, 2018	Projetado para 15% ao final do projeto	2,5%	Sem investimentos ou novos poços que podem ser necessários posteriormente com o avanço da produção O aumento na produção compensou as despesas e levou ao lucro contínuo. Custo médio por barril MEOR adicional US \$ 3,10
EUA Loco Field	Safdel, Anbaz, Jamialahmadi, Daryasafar, 2017	13%	30%	Não declaradas
EUA Queen Sand	Segovia; Huerta; Gutierrez, 2009	43%		Não declaradas
EUA, San Andres	Nnaemeka; Stanley; Franklin	10%	2,5%	Despesas: microrganismos e realização dos tratamentos.
EUA, Tulsa, Oklahoma	Safdel, Anbaz, Jamialahmadi, Daryasafar, 2017	79%	Não declarado	Não declaradas
Hungria Demjen	Safdel, Anbaz, Jamialahmadi, Daryasafar, 2017	60%	Não declarado	Não declaradas
Malásia, Bokor	Karim, Salim, Zain, Talib, 2001	47%	Redução significativamente observada no corte da água de 75% para 45%	- Custos totais do projeto: US\$0,4 milhão. Com a redução potencial nos custos operacionais é possível melhorar a economia. - VPL (taxa de desconto de 15%) após 5 meses: US \$0,003 milhões (preço do petróleo: US \$16 / bbl). - VPL projetado (taxa de desconto de 15%) para 9 meses: US\$ 0,14 milhão - preço do petróleo: US\$16/bbl
Peru, Campo de Providência, Bacia de Talara	Maure, Saldaña, Juarez, 2005	36,50%	Não declarado	Não declaradas
Polônia Carpathian		300–360%	Não declarado	Não declaradas
Romênia Romanian oil fields	Safdel, Anbaz, Jamialahmadi, Daryasafar, 2017	100–200%	Não declarado	Redução na pressão de injeção de água
Rússia, Bashkiria		32,9%	Redução	Não declaradas
Venezuela Maracaibo Lake	Segovia, Huerta, Gutierrez, 2009	78%	Não declarado	Não declaradas

Fonte: Gonçalves, J. A. e Simões, L. S. (2021)

A tecnologia MEOR vem apresentando resultados positivos comprovados em vários países por meio de testes em laboratório e de campo. Entretanto, apesar de ser uma tecnologia antiga, ainda não foi incorporada com utilização expressiva na indústria.

Descobertos há muitos anos, os métodos biotecnológicos para a recuperação melhorada de petróleo são ainda pouco utilizados devido à existência de muitas resistências à sua aplicação na indústria de petróleo. Estes métodos apresentam variações e tem se mostrado altamente eficientes, ambientalmente seguros e relativamente baratos, embora intensivos em conhecimentos científicos (ALMEIDA, 2010, p.2).

Mcinerney (2005) explica que o crescimento das bactérias a taxas exponenciais melhora a produtividade da MEOR. Essa condição permite que se recupere o petróleo a custos baixos, capazes de compensar possíveis quedas de preços de vendas. Os resultados de vários testes microbianos de campo mostram que o petróleo incremental pode ser produzido por menos de US\$ 3 por barril (cerca de US\$ 19 por m³) (BRYANT *et al.*, 1993; LAZAR *et al.*, 1993; STRAPPA *et al.*, 2004), indicando que os processos microbianos podem ser rentáveis (MCINERNEY, 2005).

Segundo Almeida (2010), a MEOR, que ainda não foi completamente explorada por razões técnicas ou econômicas, é geralmente utilizada para a limpeza e estimulação de poços que estão produzindo, poços e campos maduros e em formações rochosas.

Lazar (1998) e Sulaimani (2011) indicaram algumas razões para, mesmo havendo uma longa história de atividade, as tecnologias MEOR não receberem ampla atenção da indústria do petróleo e mesmo apresentando resultados positivos e promissores nos testes de campo serem reconhecidas muito lentamente:

- pouca cooperação e visões distintas entre microbiologistas, engenheiros, geólogos, operadores e economistas;
- os resultados, principalmente os oriundos dos testes de campo, têm sido parcialmente apresentados e frequentemente em publicações de circulação restrita;
- percepção negativa sobre o uso de bactérias e seu manejo em campo, apesar de testes de laboratórios indicarem que as culturas mistas de bactérias são seguras;
- ambiente do reservatório não favorável para o crescimento dos microrganismos;
- dificuldade de extrapolar os resultados dos testes microbianos de um poço para outros reservatórios, devido às propriedades únicas e a população microbiana de cada um;
- ausência de resultados de campo padronizados e análises pós-ensaio;
- necessidade de extensos testes de laboratório para determinação e controle dos microrganismos;
- falta de resultados de testes de longo prazo.

A complexa dinâmica do setor petrolífero também influencia a trajetória da tecnologia MEOR, por isso, é importante compreender quais das suas aplicações resultam em maiores ganhos e, portanto, têm maior possibilidade de aplicação e adoção pela área. Algumas das vantagens da MEOR são a baixa toxicidade, maior compatibilidade ambiental, biodegradação e síntese de matérias-primas renováveis (SEN, 2008) e o baixo consumo de energia (GUDIÑA *et al.*, 2012), superando tecnologias convencionais. Segundo Safdel (2017), a MEOR possui baixo custo e resultados ambientais positivos que estimulam seu uso, contudo, a sua complexidade e a falta de testes de campo suficientes dificultam a sua adoção pelas empresas produtoras.

A recuperação avançada de petróleo por meio de bioativos é uma tecnologia de baixo custo e ecologicamente correta que poderia potencializar o aumento da recuperação final do petróleo. Infelizmente, apesar das vantagens drásticas dessa tecnologia, ela ainda não é completamente suportada devido à falta de dados relativos a testes de campo e à sua complexidade e à complexidade percebida no processo. (SAFDEL *et al.*, 2017, p. 170, tradução própria).

Com a eficiência da MEOR na recuperação do petróleo, seus resultados ambientais positivos e o retorno econômico associado, a pesquisa e o desenvolvimento são essenciais para possibilitar a sua posterior aplicação efetiva, com a consequente entrada no mercado, completando assim o ciclo da inovação. O adequado mapeamento do estado dessa tecnologia no mundo traz à luz variáveis úteis para trabalhar a interação universidade-empresa, visando a transferência e sua possível adoção no ambiente produtivo. Para tanto, é essencial conhecer a dinâmica do mercado internacional e perceber as melhores formas para interagir e participar dos seus fluxos.

2.2.3 Difusão do Conhecimento, Transferência de Tecnologia e Inovação

O objetivo desse tópico é compreender como se processa a inovação, desde a geração das novas tecnologias até a sua transferência para incorporação nos processos produtivos, situando o papel da difusão do conhecimento nesse processo. Para tanto serão abordados conceitos e elementos relativos à inovação, contemplando noções relativas a trajetórias tecnológicas e os modelos da hélice tríplice e sistemas de inovação. Por fim, será feita uma breve aproximação à gestão do conhecimento, com foco na difusão e o seu papel na inovação.

A inovação tecnológica é considerada um motor do crescimento econômico e agrupa como elementos fundamentais como o potencial para importar e assimilar tecnologia, a capacidade endógena de aprendizagem e o desenvolvimento tecnológico setorial. Reconhecida

como um fator fundamental para o aumento da competitividade, o seu uso implica em um melhor posicionamento da organização no mercado. Tigre (2006) diz que a inovação tecnológica constitui uma ferramenta essencial para aumentar a produtividade e a competitividade das organizações, assim como para impulsionar o desenvolvimento econômico de regiões e países.

A inovação, de acordo com Dosi (1982), é um processo sistemático e estruturado que integra os conhecimentos científicos e tecnológicos próprios e alheios, bem como as capacidades pessoais. As diversas atividades que compõem o processo de inovação – pesquisa básica e aplicada, desenvolvimento experimental, engenharia de aplicações e *design*, serviços técnicos, metrologia e difusão – dão suporte ao desenvolvimento tecnológico de produtos, processos e materiais, podendo gerar algum tipo de inovação sem um caráter unidirecional e linear de etapas.

Definida de forma simplificada como o processo de aplicação de conhecimentos que resulta em novos produtos ou processos, a inovação ocorre em um ciclo dinamizado por atores diversos e influenciado pelo ambiente externo. Envolve a obtenção da ideia, o seu desenvolvimento e a introdução no mercado, sua difusão depende da aceitação junto aos seus utilizadores potenciais. É um processo sistêmico que depende da ação coordenada de diversos atores. Segundo Vargas e Zawislak (2006), a interação entre governos, empresas, academia e sociedade nesse processo é fundamental.

Embora existam de modo autônomo, as partes do ciclo de inovação se correlacionam e se alteram mutuamente, afetam o ambiente externo e são por ele influenciadas numa dinâmica de trocas e permanente transformação. Enfim, a inovação ocorre em um processo realizado em sistemas abertos, onde atores de natureza diversa agem e interagem, realizando ações que podem ser peculiares ou distintas. O processo de inovação é influenciado pelo ambiente externo e por isso itens como o nível da concorrência, incentivos à competição e arranjo setorial têm grande relevância.

A Figura 3 ilustra aspectos do ciclo de inovação com seus respectivos atores e atividades relativas a cada fase.

Figura 3. Fases e Atores Principais do Ciclo de Inovação



Fonte: Simões, Ramos-de-Souza e Almeida (2019).

Os inventores, titulares e escritórios patentários são atores ligados por linhas dinâmicas que representam as suas interações dentro do sistema, configurando o ciclo de inovação. Tendo em vista que o desenho ora proposto se baseia nas informações contidas em patentes, não incorpora, por exemplo, itens relativos a tecnologias baseadas em estratégias de segredo industrial. Os atores considerados no ciclo de inovação são os inventores, os titulares das patentes e os escritórios nos quais as patentes são depositadas. Outros elementos como governo, fornecedores, clientes e sistema econômico, que não estão inclusos na Figura 3, também atuam em constante interação, influenciam e são impactados pelos atores e resultados oriundos da dinamização do ciclo de inovação. Assim é composta a estrutura ampla de um sistema de inovação.

2.2.3.1 Hélice Tríplice, Sistemas de Inovação e Trajetórias Tecnológicas

Aqui se pretende compreender os modelos de inovação da Hélice Tríplice e dos Sistemas de Inovação, em especial o papel das universidades e das ICTs em cada um deles. Complementarmente, para ampliar o entendimento sobre a transferência de tecnologia serão abordadas as trajetórias tecnológicas.

Durante a crise de 1920, na Inglaterra, surgiram iniciativas da universidade, da indústria e do governo para renovar a economia industrial, dando origem ao modelo da Hélice Tríplice. Esse modelo de inovação oferece uma metodologia para examinar pontos fortes e fracos locais e preencher lacunas nas relações entre esses três agentes, com vistas a gerar uma estratégia de inovação bem-sucedida. O foco é a promoção do desenvolvimento por meio da inovação e do empreendedorismo a partir da interação entre universidade, indústria e governo, ao qual cabe reduzir o risco do agente privado.

Na Hélice Tríplice, as universidades, as empresas e os governos seguem atuando nos seus papéis tradicionais, passando a agregar novas atividades e relacionamentos relativos à inovação. O princípio organizador da Tríplice Hélice é a expectativa de que a universidade desempenhe um papel maior na sociedade como empreendedora, passando a ser um ator influente, ao invés de estar subordinada à indústria ou ao governo. Como fonte de novos conhecimentos e tecnologias, passa a atuar na formação de empresas, muitas vezes baseadas em novas tecnologias originadas na pesquisa acadêmica. A transformação da academia em fonte de inovação é concomitante à transformação da inovação de um processo interno em empresas individuais para uma ação que ocorre entre empresas e entre empresas e instituições produtoras de conhecimento. A universidade empreendedora assume uma postura proativa na utilização do conhecimento e na ampliação da contribuição para a criação do conhecimento acadêmico. E, claro, nem todos concordam que ela deva desempenhar esse novo papel. Muitos acadêmicos acreditam que a universidade cumpre melhor sua missão limitando-se ao ensino e à pesquisa, evitando um papel mais amplo no desenvolvimento econômico e social (ETZKOWITZ, 2017, p. 28, tradução própria).

Nesse modelo, a universidade opera de acordo com um modelo de inovação interativo e não linear. Esse processo se beneficia em especial da inovação aberta, uma abordagem renovada sobre a natureza da pesquisa e do desenvolvimento que vem dando origem a novos modelos de geração e comercialização da inovação. Líderes empresariais e estudiosos da inovação adotaram esse conceito e os governos também têm procurado realinhar suas estruturas políticas nessa direção. Segundo West *et al.* (2014), entre as características da inovação aberta estão: a entrada de tecnologias externas ao longo do processo de desenvolvimento do produto, seguida por saídas controladas de tecnologias internas em busca de novos mercados por meio de licenciamento externo; os fluxos de conhecimento para dentro e para fora da organização e a reunião de uma ampla gama de atores externos.

Assim como as universidades, a indústria, que é o ambiente de produção, também está em transformação. A medida que as empresas aumentam o seu nível tecnológico, aproximam-se de um modelo acadêmico, engajando-se em níveis mais elevados de formação e partilha de conhecimento, como ocorre nas *start-ups* e *spin-offs* de universidades que incorporam características acadêmicas. *Start-ups* são companhias iniciantes, empreendedoras, emergentes, com estrutura ágil e negócios promissores baseados na tecnologia e inovação. *Spin-offs* são

companhias que nascem a partir de projetos de pesquisas ou de desenvolvimento, oriundas de outra organização ou de universidades / ICTs.

Segundo Etzkowitz (2017), o governo, por sua vez, atua como empreendedor público e capitalista de risco, além do seu tradicional papel regulador na definição das regras do jogo. Pretende-se que o Estado (recurso público) assuma riscos inerentes à atividade privada, mas mesmo assim, não há garantia de interesse empresarial. Ainda assim, espera-se que o governo entre com as relações contratuais que garantam interações e trocas estáveis, assumindo a liderança na coordenação e fornecendo os recursos para novas iniciativas. Indústria e academia são vistas como esferas institucionais relativamente fracas que requerem forte orientação, senão, controle. Contudo, o protagonismo no modelo da Hélice Tríplice permanece com a universidade.

As economias baseadas no conhecimento estão mais firmemente ligadas a fontes de novos conhecimentos e mais sujeitas a um estado de transformação contínua do que presas a arranjos estáveis. Promover um processo contínuo de formação de empresas com base em tecnologias avançadas, muitas vezes originárias da universidade, torna-se o núcleo da estratégia de inovação da Hélice Tríplice. (ETZKOWITZ, 2017, p. 31, tradução própria)

Na realidade brasileira, os setores industriais são amplamente representados institucionalmente através de federações e confederações, possuindo grande poder de pressão junto aos órgãos públicos. Essa dinâmica se aproxima um pouco da nova forma de compreender a inovação que surgiu com a abordagem dos sistemas de inovação, na qual, segundo Etzkowitz (2017), o governo e a universidade desempenham apenas papéis de apoio, sendo a indústria, a esfera institucional primária e foco da análise da inovação. Os sistemas de inovação podem ser considerados como as bases da dinâmica institucional de estímulo à mudança tecnológica. São sistemas abertos que têm sua atuação interna baseada na interação entre seus diferentes componentes: instituições de ciência e tecnologia, empresas, organizações financeiras e educacionais.

Apesar de serem caracterizados por uma coordenação central, segundo Ramos-de-Souza e Mahl (2019), a dinâmica das atividades ressalta a relevância de um ou outro ator e esse ponto de destaque modifica-se no tempo em função das próprias atividades e da forma de movimentação do conjunto das partes que interagem para cumprir o ciclo de inovação

Ao mesmo tempo, os sistemas de inovação estabelecem relações de troca com o meio exterior que são fundamentais para o seu desempenho. Ramos-de-Souza e Mahl (2019) abordam esta questão, enfatizando a importância da dualidade local-global, ao ressaltarem que a localidade possibilita a valorização de questões como proximidade, confiança e

conhecimentos tácitos, mas o fechamento de uma localidade em si mesma poderia resultar em soluções tecnológicas inferiores. Bittencout (2016) traz que o tipo de teoria que importa para compreender os sistemas de inovação precisa ter uma dimensão espacial (geográfica) e temporal (histórica) muito forte, pois, os sistemas de inovação teriam diferentes significados e em diferentes períodos e localizações.

Os sistemas de inovação podem abranger uma territorialidade restrita ou mais ampla desde os sistemas locais e regionais, passando pelos nacionais. Conforme Albuquerque (2004), em 1982, Christopher Freeman utilizou pela primeira vez, na forma escrita, a terminologia Sistema Nacional de Inovação (SNI) no documento “Infraestrutura Tecnológica e Competitividade Internacional”, apresentado na Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Segundo Etzkowitz (2017), um Sistema Nacional de Inovação compreende os setores industriais primários e estruturas de apoio nas quais novos produtos são desenvolvidos em uma sociedade. Albuquerque sintetiza:

Sistema nacional de inovação é um arranjo institucional envolvendo múltiplos participantes: 1 – firmas e suas redes de cooperação e interação; 2 – universidades e institutos de pesquisa; 3 – instituições de ensino; 4 – sistema financeiro; 5 – sistemas legais; 6 – mecanismos mercantis e não-mercantis de seleção; 7 – governos; 8 – mecanismos e instituições de coordenação. Esses componentes interagem entre si, articulam-se e possuem diversos mecanismos que iniciam processos de “ciclos virtuosos”. (Albuquerque, 2004, p.10)

Segundo Malerba (2003), as fronteiras nacionais e regionais/locais importam em graus variados, dependendo do setor específico, em uma perspectiva de sistema setorial.

Empresas pertencentes a setores diversos contribuem de forma distinta com os processos de inovação e são diferentes nas formas de inovar e interagir com outras empresas, de relacionar-se com a infraestrutura do conhecimento, de recorrer aos mercados de trabalho e de financiar a propriedade intelectual (LUNDVALL, 2007, p. 14, tradução própria).

A abordagem dos sistemas setoriais de inovação também engloba o enfoque do sistema tecnológico, situando-o no contexto setorial e nos processos de suas atividades econômicas. Segundo Malerba (2003), os elementos que constituiriam os *building blocks* de um sistema setorial de inovação são: a base de conhecimento e o processo de aprendizagem; as tecnologias básicas, os insumos e a demanda; os agentes do sistema e a formação da estrutura setorial; as instituições e os mecanismos de financiamento.

Assim, em uma perspectiva de sistema setorial, inovação e produção são considerados processos que envolvem interações sistemáticas entre uma ampla variedade de atores para a geração e troca de conhecimento relevante para a inovação e sua comercialização. As interações incluem relações de mercado e não-mercado que são mais amplas do que o mercado de licenciamento e conhecimento tecnológico, alianças entre empresas e redes formais de empresas. [...] Os sistemas setoriais têm uma base

de conhecimento, tecnologias, insumos e uma demanda (potencial ou existente). Os agentes são indivíduos e organizações em vários níveis de agregação, com processos de aprendizagem, competências, estrutura organizacional, crenças, objetivos e comportamentos específicos. Eles interagem por meio de processos de comunicação, troca, cooperação, competição e comando, e suas interações são moldadas por instituições. (BITTENCOURT, 2016, p. 24)

Durante a evolução dos sistemas setoriais podem ocorrer mudanças nos regimes tecnológicos e de aprendizagem e nos padrões das inovações. A mudança ao longo do tempo resulta em um processo coevolutivo de seus diversos elementos, envolvendo conhecimento, tecnologia, atores e instituições. (MALERBA, 2003, p. 335)

A forma como a tecnologia se difunde e é integrada ao sistema produtivo depende diretamente das características técnicas e econômicas dos diferentes setores de atividade. Cada indústria ou setor apresenta distintos produtos e processos, escalas típicas e intensidade diferenciada de conhecimento incorporado à trajetória das inovações. (TIGRE, 2006, p. 155).

O histórico do desenvolvimento de um setor, com sucessos e falhas, conhecimentos e aparatos, estabelece progressivamente as normas relativas à mudança técnica. A trajetória tecnológica surge com uma natureza de progressão ordenada na diferenciação da tecnologia e firma-se como padrão de base para as atividades de resolução de problemas nesse âmbito. Torna-se um parâmetro para o fluxo das inovações, favorecendo a aprendizagem nesse caminho e bloqueando possibilidades tecnológicas que devem ser evitadas. Conforme Biondi e Galli, (1992), as trajetórias tecnológicas possuem limites e fronteiras nos quais são inseridas, com base em escolhas utilitaristas e de decisões sobre aceitar ou rejeitar inovações. Estes autores afirmam que as regras para a evolução tecnológica estão mais ligadas à proibição e à permissão do que à prescrição. Assim, as trajetórias surgem de acordo com a realidade construída em cada setor, com características e padrões próprios, que são cultivados no decorrer do tempo:

Começamos estabelecendo várias hipóteses a partir das quais se derivaria uma regra geral da evolução tecnológica. Seu potencial preditivo limitado confere um caráter proibitivo-permissivo, em vez de prescritivo. Essa regra gera "trajetórias naturais" que coincidem com o que encontramos na realidade do desenvolvimento tecnológico. Essa abordagem nos permite atribuir logicamente a característica de estabilidade intrínseca às trajetórias definidas, e aponta para um modo de identificar outras com as quais fatos conhecidos podem ainda não ter corroborado. (BIONDI; GALLI, 1992, p. 591, tradução própria)

Segundo Ortiz e Shima (2008), o desenvolvimento tecnológico e as instituições são elementos fortemente integrados que se explicam mutuamente. As instituições são geradoras de normas, crenças, convenções e atuam sob determinadas regras; em paralelo, elementos exógenos influenciam o comportamento e as estratégias da firma. O desenvolvimento das trajetórias tecnológicas no setor do petróleo está fortemente condicionado e acompanhado pelo desenvolvimento das instituições do setor, focado em grandes empresas líderes globais e na sua

capacidade produtiva. Seria impossível que essas trajetórias tivessem algum sucesso se não fosse a percepção pelos países da necessidade do desenvolvimento de institutos de P&D e normas regulatórias para a prospecção e exploração de petróleo.

A inovação tecnológica passa por várias fases de desenvolvimento até estar pronta para utilização ou comercialização. O seu potencial de sucesso ou efetividade aumenta, ao passo que reduzem os riscos de insucesso. Segundo Velho et al. (2017), há vários níveis que a tecnologia deve superar até fazer parte de sistemas ou subsistemas tecnológicos e ser utilizada com segurança no mercado e, atualmente, há um claro foco na comercialização dos resultados das pesquisas. Gerar inovações envolve tempo e recursos consideráveis, inclusive do ponto de vista financeiro, por isso, é importante identificar o estágio da tecnologia em desenvolvimento para apoiar decisões de fomento à inovação e relativas à transição de tecnologia.

Segundo Moresi *et al.* (2017), a avaliação de tecnologias é necessária para evitar o comprometimento da aplicação e do orçamento e deve ser feita interativamente até que os requisitos e os recursos estejam alinhados e dentro de um risco aceitável, essa é uma componente de gestão de riscos e de avaliação técnica global. Para Knaggs *et al.* (2015), integrar tecnologias novas e emergentes em escala comercial nos sistemas que estão em funcionamento, sempre introduzirá algum nível de risco, criando a necessidade permanente de equilibrar oportunidades de inovação com a redução de riscos à níveis aceitáveis. Embora o risco não possa ser eliminado, pode ser melhor compreendido, comunicado e minimizado.

Nesse sentido, a escala *Technology Readiness Levels* (TRL) foi criada pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) em 1974. Inicialmente usada no processo de planejamento de tecnologia espacial da NASA, mensura o nível de maturidade de tecnologias. Conforme Mankins (1995), esse modelo inclui as etapas de: pesquisa básica em novas tecnologias e conceitos, desenvolvimento tecnológico para aplicação de tecnologias específicas, desenvolvimento e demonstração de tecnologia para cada aplicação antes do início do desenvolvimento, desenvolvimento do protótipo do sistema, e por fim, o lançamento e operações do sistema.

Na utilização da escala TRL, cada projeto de tecnologia é avaliado em relação aos parâmetros de cada um dos seus nove níveis, sendo classificado de acordo com seu progresso: 1. nível inicial de maturação da tecnologia, pesquisa científica, observação e registro dos princípios básicos com indicações para futuro; 2. início da atividade inventiva, a pesquisa científica começa a ser traduzida em pesquisa aplicada e desenvolvimento; 3. pesquisa aplicada e desenvolvimento, estudos analíticos e laboratoriais, projeto de design para verificar a

viabilidade da tecnologia; 4. ocorre em laboratório, ambiente de baixa fidelidade, com funções crítica, analítica e experimental; 5. testes mais rigorosos em ambientes de simulação realistas; 6. enquadra-se o protótipo totalmente funcional em ambiente de simulação ou real; 7. validação do protótipo em ambiente operacional; 8. sistema real testado e qualificado, pronto para ser implementado; 9. a tecnologia aprovada aplicada em sua forma final.

O esforço ou custo necessário para alcançar o próximo nível pode ser maior ou menor a depender da configuração tecnologia/setor analisado. Também a forma de interação com o setor está condicionada ao tipo do projeto em desenvolvimento. Tanto os sistemas setoriais quanto as próprias tecnologias possuem peculiaridades intrínsecas que condicionam o desenvolvimento das inovações a dinâmicas distintas. A inexistência de parâmetros para mudança de nível e para integração da tecnologia com o sistema setorial onde será incluída poderiam ser considerados pontos negativos da escala TRL.

Contudo, a escala de maturidade tecnológica é importante para o processo de inovação por conter níveis que vão desde a pesquisa básica até a aplicação em campo, deixando clara a relevância dos testes de campo para a adoção das novas tecnologias nos processos produtivos.

Segundo Knaggs *et al.*(2015), as demonstrações em escala comercial das tecnologias de energia avançadas ajudam a indústria a entender e superar os problemas iniciais de adoção e dimensionamento de tecnologia. A oportunidade de financiamento e investimento é melhor oportunizada pela redução do perfil de risco associado a tecnologias novas e muitas vezes inéditas. Desde 1985, o DOE/NETL¹ tem financiado com sucesso demonstrações em larga escala de tecnologias avançadas de energia fóssil para acelerar sua adoção no mercado comercial, como parte fundamental do seu programa integrado de pesquisa, desenvolvimento e demonstração.

Segundo Dosi (1982):

[...] As trajetórias de uma tecnologia podem variar e vão, de alguma maneira, depender da capacidade de desenvolvimento e da inovação dos seus usuários ou produtores localizados em contextos diferentes e com conhecimentos tácitos distintos, conferindo, assim, um caráter não linear do padrão de evolução do progresso técnico. (DOSI, 1982, p. 152, tradução própria).

¹ DOE/NETL - United States Department of Energy / National Energy Technology Laboratory

Já conforme Tigre (2006):

Os processos de inovação e difusão, entretanto, não podem ser totalmente separados, pois em muitos casos a difusão contribui para o processo de inovação [...] a difusão alimenta e direciona a trajetória de inovação, revelando as necessidades cambiantes da demanda por soluções técnicas. A capacidade para aperfeiçoar e adaptar um novo produto ou processo as condições específicas de um setor ou país é fundamental para o sucesso da difusão tecnológica. (TIGRE, 2006, p. 88)

No caso específico das inovações em tecnologias MEOR, sua efetiva aplicação na indústria do petróleo está diretamente condicionada à trajetória tecnológica do setor, suas barreiras e mecanismos de estímulo. A cooperação entre universidades/ICTs e empresas são essenciais para o aumento do nível de maturidade dessas tecnologias. Quando geradas pelas universidades/ICTs, podem alcançar até o nível 4 da escala TRL, no qual são feitos testes em ambiente controlado de laboratório. O alcance do nível 5 já depende do envolvimento da indústria, para possibilitar os testes de campo. Do nível 6 ao 9, as empresas normalmente seguem sozinhas, sem a participação das universidades/ICTs .

2.2.3.2 *Gestão do Conhecimento, Propriedade Intelectual e Inovação*

Para Etzkowitz (2017), o que é periférico e o que é central para a inovação tem se transformado nos últimos anos. As instituições produtoras de conhecimento desenvolveram a capacidade organizacional não apenas de recombinar ideias antigas e sintetizar e conceber novas, mas também de traduzi-las em uso.

Analisar a base de conhecimento explícito e tácito, conjuntamente, é considerado por Malerba (2003) um elemento central para a definição de um setor. Não só pela existência de um determinado estoque de conhecimento setorial, mas pelo padrão de acessibilidade do conhecimento externo da firma e pela possibilidade de acumulação de conhecimento, ou seja, em que grau o novo conhecimento gerado no setor se deve ao conhecimento já estabelecido.

A natureza do conhecimento utilizado em atividades econômicas é usualmente dividida em codificada e tácita. O conhecimento codificado é apresentado sob a forma de informação, por meio de manuais, livros, revistas técnicas, software, formulas matemáticas, documentos de patentes, bancos de dados etc. A codificação permite que o conhecimento seja transmitido, manipulado, armazenado e reproduzido. Já o conhecimento tácito envolve habilidades e experiências pessoais ou de grupo, apresentando um caráter mais subjetivo. (TIGRE, 2006, p. 121)

O conhecimento tácito ganha relevância por sustentar o explícito, que é registrado e pode ser transmitido por meio dos instrumentos que o contém: registros escritos, imagens, entre outros. De grande relevância nas atividades relativas à ciência, tecnologia e inovação, o

conhecimento explícito é intrinsecamente influenciado pelo conhecimento tácito. As contribuições determinantes da ciência, da pesquisa básica à tecnologia ou inovação ocorrem muito mais por transferência de conhecimento tácito (*know-how*) do que por transferência de informação codificada. Assim torna-se fundamental a interação entre pesquisadores, com a sua capacidade de resolver problemas, e redes informais nas quais eles trabalham.

Muito do conhecimento contido na indústria era tácito, diretamente ligado aos processos de produção e não à pesquisa. Assim, a inovação ou desenvolvimento de novos produtos ocorria por meio de novas combinações de conhecimento e experiência, pelo “aprender fazendo” em vez de P&D formal. (ETZKOWITZ, 2001, p. 316).

A Gestão do Conhecimento (GC) atua na criação e expansão do conhecimentos que são incorporados em produtos, serviços ou mesmo em contextos organizacionais novos. Fatores como velocidade das mudanças, globalização dos mercados, avanços tecnológicos e competitividade levaram as organizações a reagirem cada vez mais rapidamente à dinâmica do ambiente externo, a partir da permanente criação de novos conhecimentos.

A GC pode ser entendida como uma disciplina que se encarrega de estudar o desenho e a implementação de sistemas cujo principal objetivo é fazer com que todo o conhecimento tácito e explícito contido na organização possa ser convertido em conhecimento organizacional, de modo que este conhecimento, ao ser acessado e compartilhado, permita a amplificação do conhecimento dos indivíduos, e que isto retorne diretamente à organização. (TREVISAN; DAMIAN, 2018, p. 26)

Contudo, implantar a Gestão do Conhecimento com foco na aquisição do conhecimento para resolução dos problemas do dia a dia, mesmo que contemple as atividades de obtenção, facilitação, aprendizagem, armazenamento de conhecimento e disseminação não viabiliza a diferenciação da organização através da inovação. A partir dos estudos apresentados por Castro e Brito (2016), é possível sintetizar que o desafio de implementação efetiva da Gestão do Conhecimento pode ser localizado na sua inclusão como elemento estratégico na organização. Ao ser situada no nível conceitual e identificada como um dos princípios fundamentais da organização, a Gestão do Conhecimento torna possível a construção de uma cultura organizacional favorável, a implementação de condições facilitadoras, o esforço educacional com os trabalhadores e o reconhecimento das pessoas fiéis e com conhecimento de valor agregado. Em síntese, possibilita o alinhamento da captação de novos conhecimentos necessários para manter as organizações no futuro.

Implantada com foco estratégico, a gestão do conhecimento passa a integrar intrinsecamente a organização e a potencializar ações de gestão do capital intelectual, treinamento dos trabalhadores e gestão documental. Com isso, é facilitada a criação de novos conhecimentos, ideias, processos e práticas e extensivamente a própria inovação. Torna-se

relevante para a inovação, do ponto de vista interno, à medida que o conhecimento além de ser matéria prima para a inovação, influi na criatividade, e do ponto de vista externo, ao se configurar como essencial para compreensão e movimentação no setor e no sistema de inovação nos quais a organização e o indivíduo estão inseridos.

Complementarmente para Mattos e Guimarães (2005):

Não basta estar convicto da necessidade de inovar – é preciso saber como fazer e por onde começar. Desenvolver, selecionar e implementar técnicas e ferramentas que capacitem as empresas a combinarem tecnologia e estratégia de negócios têm sido o objetivo de várias organizações e de inúmeros projetos conduzidos nos âmbitos nacional e internacional. (MATTOS; GUIMARÃES, 2005, p.95)

A propriedade intelectual é uma ferramenta catalisadora do processo de inovação, geralmente é uma das etapas da gestão do conhecimento nas organizações que atuam com inovação e pode ser utilizada como veículo de prospecção tecnológica.

A propriedade intelectual (PI) é essencialmente um direito, outorgado pelo Estado por meio de leis específicas, por um prazo determinado. Permite a seu detentor excluir terceiros de sua comercialização. A PI abrange a propriedade industrial, copyrights e domínios conexos. A propriedade industrial é o regime de proteção conferido às invenções, modelos de utilidade, desenhos industriais, marcas e denominações de origem. (TIGRE, 2006, p. 129)

Uma vez efetivado o trabalho de invenção, os resultados são traduzidos em conhecimento explícito. A partir de então, inicia-se a preocupação pela proteção e apropriação econômica desse conhecimento.

A invenção se refere à criação de um processo, técnica ou produto inédito. Ela pode ser divulgada através de artigos técnicos e científicos, registrada em forma de patente, visualizada e simulada através de protótipos e plantas piloto sem, contudo, ter uma aplicação comercial efetiva. Já a inovação ocorre com a efetiva aplicação prática de uma invenção (TIGRE, 2006, p. 87).

Segundo a WIPO (2020), a propriedade intelectual (PI) desempenha um papel importante na vida cultural e econômica e abrange uma vasta gama de atividades relativas às criações da mente, desde obras de arte a invenções, programas de computador a marcas e outros sinais comerciais. Sua importância é reconhecida por diversas leis que protegem os direitos de propriedade intelectual relacionadas à diferentes tipos de PI e leis nacionais em distintos países e regiões do mundo, bem como leis internacionais que formam um complexo arcabouço legal.

O progresso tecnológico requer o desenvolvimento e a aplicação de novas invenções e para motivar esse processo, os direitos relativos à propriedade intelectual são vitais. Segundo Marques (2014), é importante que as empresas utilizem mecanismos de proteção para assegurar os ganhos econômicos do esforço de inovação e impedir as cópias das suas invenções.

Ainda segundo a WIPO (2020), a proteção da propriedade intelectual (PI) encoraja os inventores a dedicarem tempo e recursos mediante a possibilidade de um retorno justo. Assim, os criadores ou proprietários se beneficiam do seu trabalho ou investimento por meio do controle sobre a forma como suas propriedades intelectuais são negociadas por determinado período de tempo. Entre os vários instrumentos de propriedade intelectual existentes, destacam-se as patentes, um dos primeiros a serem reconhecidos nos sistemas legais.

Grzegorzcyk (2020) traz que patentes são a forma mais tangível de direitos de PI, e o seu regime de proteção é o mais forte em comparação com outros tipos de direitos de PI. Para ser qualificada para a proteção patentária, uma invenção deve atender aos requisitos de novidade, atividade inventiva e aplicação industrial. Ou seja, a invenção deve ter algum uso prático, oferecer alguma contribuição para o campo técnico relevante e também trazer algo novo consistente que não possa ser facilmente deduzido pelos especialistas da área.

A patente garante o direito de propriedade intelectual, funcional e econômica e por outro lado possibilita a difusão do conhecimento acumulado na inovação. Essa amplitude de garantias é fundamental para o processo de inovação que exige a ação de agentes variados nas suas diversas fases: inicialmente na pesquisa e invenção, as universidades e instituições de ciência e tecnologia (ICTs) atuam em grande medida; no desenvolvimento há a demanda por soluções de engenharia e de produção que requerem a entrada de empresas na dinâmica; no licenciamento e comercialização das inovações, que pode ser realizada por organizações distintas das que atuaram nas fases anteriores, as patentes são muito importantes.

Além do controle sobre o uso e a venda, a partir da sua publicação, as patentes possibilitam partilhar o conhecimento envolvido. Embora terceiros sejam impedidos de fazer uso comercial da tecnologia patenteada, a sua utilização para fins de pesquisa científica e tecnológica é permitida. Ao patentear uma invenção, o titular da patente obtém os direitos exclusivos sobre ela e pode impedir qualquer pessoa de usar, fabricar ou vender a invenção sem a sua permissão. Essa proteção dura um período limitado de tempo, geralmente 20 anos. Em troca, o titular da patente deve divulgar todos os detalhes da invenção patente publicada. A descrição da invenção deve ser clara e com detalhes suficientes para permitir sua utilização ou reprodução por alguém com conhecimento médio do campo técnico. Terminado o período de proteção, a invenção perde a patente, o que significa que qualquer pessoa é livre para produzi-la, vendê-la ou usá-la. (WIPO, 2020, p. 4 e 6, tradução própria)

Assim, é possível inferir que, além do seu papel na transferência e comercialização das invenções, as patentes favorecem o ciclo de inovação ao trazer elementos para a pesquisa e desenvolvimento quando são utilizadas como fonte de informações no processo de inovação. Adicionalmente, as informações dos atores chave do ciclo de determinada inovação estão contidas nas patentes. Embora as funções dos atores estejam especificadas, é importante ressaltar que elas estão fortemente relacionadas ou mesmo entrelaçadas. Por exemplo, embora

a produção do conhecimento seja função atribuída aos inventores, ela guarda forte relação com a gestão do conhecimento realizada pelos titulares e mesmo com a identificação do mercado potencial nos escritórios de patentes dos diferentes países ou regiões que têm legislação e normas específicas.

O depósito de patentes de uma mesma invenção em mais de um país é usual, pois a inovação deve ser patenteada nos mercados de interesse para sua difusão. Quando uma invenção é depositada em escritórios patentários de países distintos é formada uma família de patentes.

Enquanto instrumentos de apropriação das tecnologias desenvolvidas, as patentes regulam e trazem segurança para as relações entre as empresas, organizações, ICTs e universidades envolvidas. Segundo Marques (2014), as empresas devem buscar mecanismos de proteção que assegurem a apropriação econômica do esforço de inovação e também funcionem como barreiras para que os imitadores não copiem livremente suas criações.

Contudo foram apresentadas críticas aos aparatos legais criados para reger as patentes, alegando que a complexidade dos processos criativos e inovadores, movidos por múltiplas interações de diferentes agentes, não se enquadra na divisão que legitima os mecanismos legais das patentes.

Existem elementos que desestimulam a adesão ao sistema de propriedade intelectual. Ramos-de-Souza (2014), refere-se a alguns desses elementos no setor de petróleo e gás: a nível macro, são relevantes, a tradição do país, os níveis de investimento em PD&I e a dinâmica do processo de concessão de patentes; no âmbito das organizações, pode haver a estratégia de aquisição de tecnologia e parcerias com outras empresas do setor de energia para desenvolver suas atividades e também a adoção da estratégia de segredo industrial para garantir a exclusividade e evitar gerar informações sobre a estratégia de pesquisa adotada pela empresa para a concorrência. Ramos-de-Souza (2014) diz também que nem sempre as empresas no setor de petróleo e gás possuem interesse em depositar patentes referentes às inovações que criam. Para empresas que têm P&D próprios, o segredo industrial é mais importante do que a patente, que pode ser utilizada mediante pagamento de direitos de propriedade intelectual. Além disso, uma patente pode ser utilizada irregularmente, sem que seu autor receba nada por isto, porque ao depositar a patente é necessário revelar o segredo industrial.

Apesar do sistema de patente ser uma das formas mais antigas de intervenção governamental em economias de mercado. O monopólio concedido cria, em muitos casos, barreiras artificiais à difusão dos conhecimentos acumulados pela humanidade. (TIGRE, 2006, p. 129)

O Livro Verde de Inovação da União Europeia (UE), publicado em 1995, identificou o seguinte paradoxo na UE:

O Livro Verde sobre a Inovação referia que a Europa revela três grandes obstáculos: uma boa produção científica que não se reflete suficientemente em patentes e novas empresas de base tecnológica; um enquadramento legislativo desfavorável (custo das patentes, tempo para montar um negócio, problemas com a propriedade intelectual); e dificuldades de financiamento da inovação e dos empreendedores. (MATTOS; GUIMARÃES, 2005, p. 94)

Contudo, a despeito dos aspectos que podem ser considerados negativos, a propriedade intelectual por meio de patentes é uma ferramenta mundial de gestão do conhecimento explícito, fruto do processo de inovação. Ela passou a ser uma ferramenta mundial a partir da instituição da Organização Mundial do Comércio (OMC) que instituiu, em 1995, a reestruturação produtiva iniciada na década de 1980. Ou seja, o controle de direitos de PI foi necessário como parte estrutural da globalização da produção, parte da criação de cadeias globais de produção.

Dosi (1982) complementa que o processo de inovação é composto por etapas que ocorrem sem um caráter unidirecional e linear, levando as trajetórias da tecnologia a variar dependendo da capacidade de desenvolvimento e da inovação dos usuários ou produtores localizados em contextos diferentes e com conhecimentos tácitos distintos.

Brem (2017) traz que antes de se engajarem com atores externos, as empresas precisam considerar a proteção adequada para evitar vazamentos indesejados de conhecimento, isso normalmente pode ser resolvido pela proteção de PI. Esse instrumento é importante para as universidades e ICTs cuja participação é favorecida na inovação aberta, que transfere a lógica da inovação da descoberta interna para o envolvimento externo, favorecendo, portanto, o desenvolvimento de projetos cooperativos universidade-empresa.

3. APROXIMAÇÃO TEÓRICA À CIÊNCIA DAS REDES

A Ciência das Redes surge como um suporte metodológico a essa pesquisa, visto que a análise de redes sociais e complexas possibilita o mapeamento e o entendimento da dinâmica existente entre diversos sujeitos de determinado sistema, inclusive com base em parâmetros quantitativos. Neste sentido, busca-se uma aproximação teórica à ciência das redes para posterior mapeamento da trajetória das tecnologias MEOR.

Esse é um campo relativamente novo que vem sendo desenvolvido a partir da teoria dos grafos, originada em 1735, com a solução proposta pelo matemático Euler para o problema das pontes de Königsberg². Na década de 30, houve a incorporação dos estudos das redes complexas iniciados por sociólogos e em posteriormente houve um desenvolvimento considerável com o avanço das tecnologias de informação e a possibilidade de análise de grande quantidade de dados. Para Brandes (2013), a ciência das redes é o estudo dos modelos de rede e é improvável que os modelos de rede se generalizem entre as áreas de conhecimento, gerando uma teoria única que ignore contextos de pesquisa.

A ciência das redes deve ser empírica – não exclusivamente, mas consistentemente – e seu valor avaliado em relação às representações alternativas.[...] A ciência das redes se baseia na suposição de que uma causa, um efeito ou uma associação entre aspectos envolve algo que pode ser conceituado como uma rede (BRANDES, 2013, p. 4-6).

Na Ciência das Redes, uma rede é um grafo, uma estrutura matemática que permite uma leitura adequada dos sistemas reais e possui propriedades que a define, permitindo, inclusive, a compreensão da sua dinâmica no decorrer do tempo. Segundo Gross e Yellen (1999), os grafos são compostos por dois conjuntos: V (conjunto de vértices, finito e não vazio) e E (conjunto de arestas, relação binária sobre os V). Os vértices se relacionam dentro de um contexto, de acordo com algum padrão determinado, relação essa simbolizada pelas arestas que os conectam. Quando uma aresta tem uma direção, conecta um vértice origem a um vértice destino e o grafo é direcionado, havendo uma relação de causalidade estrita. Os grafos que apresentam a interação recíproca entre os elementos do sistema não direcionados.

Quando o conjunto de vértices e arestas representa um sistema complexo é chamado de rede complexa. Segundo Barabasi (2003), o termo redes complexas refere-se a um grafo que apresenta uma estrutura não trivial. Diversos aspectos do mundo real são sistemas complexos

² O problema das pontes de Königsberg consistia em como atravessar a cidade que possuía sete pontes, passando apenas uma vez por cada ponte, ato que solução de Euler provou ser impossível realizar.

que podem ser representados por meio de redes complexas, mediante analogias para a resolução de problemas específicos. Segundo Metz *et al.* (2007), os sistemas complexos possuem algumas características peculiares: não são hierárquicos, apesar de serem grandes, compõem-se de muitos elementos diversos e as partes interagem sem centralização; também não há linearidade, as entradas e saídas do sistema não são proporcionais entre si; o todo é maior que a soma das partes e há algo maior que emerge de um conjunto de regras simples; o sistema é robusto (estável e forte) na sua totalidade, embora as partes sejam frágeis isoladamente. Enfim, deduz-se que o comportamento complexo não pode ser reduzido ao fenômeno que o criou.

Segundo Metz *et al.* (2007), esse método de análise torna-se particularmente vantajoso por conter indicadores estatísticos que levam ao entendimento de aspectos relevantes das redes com base em parâmetros quantitativos. Nesse estudo pretende-se aplicá-lo para identificar os componentes e elementos principais das tecnologias MEOR, mapear o ciclo de inovação e destacar os atores principais, considerando a sua evolução no tempo.

A Teoria de Redes Complexas possui um caráter interdisciplinar:

A perspectiva da Teoria de Redes Complexas visa entender a estrutura e o comportamento de sistemas que possuem uma larga escala de dados e que evoluem dinamicamente com o tempo. A Teoria de Redes Complexas, conforme argumenta Newman [...] tem como primeiro objetivo encontrar e destacar propriedades estatísticas que caracterizam a estrutura e o comportamento de sistemas baseados em rede e sugerir meios adequados para medir essas propriedades. Em segundo lugar, propõe-se a criar modelos de redes que favoreçam a compreensão do significado dessas propriedades. Em terceiro lugar, tem como finalidade predizer qual será o comportamento de sistemas baseados em rede considerando as propriedades estruturais medidas e as regras locais que vigoram sobre as partes do sistema. (Rosa, 2016, p. 15-16)

Ao representar o funcionamento de sistemas reais, as redes são uma forma de compreender especialmente os sistemas abertos (sistemas que interagem com o ambiente externo), resultantes da interação entre diversas partes que se influenciam mutuamente.

3.1 TIPOS DE REDE

Segundo Barabasi (2003), a ciência de redes visa construir modelos que reproduzam as propriedades de redes reais, cuja maioria não é regular e previsível, mas geradas aleatoriamente. Há três topologias que caracterizam redes complexas: aleatórias, mundo pequeno (*small world*) e livre de escala. Redes aleatórias simulam sistemas verdadeiramente aleatórios e podem ser construídas dessa forma: os vértices são conectados com arestas colocadas aleatoriamente,

fixando a probabilidade de dois vértices estarem conectados ou de cada par de vértices ser conectado, fixando o número total de vértices.

As redes *small world* modelam sistemas nos quais os elementos se conectam com outros próximos, criando um efeito de mundo pequeno, no qual a distância entre os vértices é pequena. Segundo Watts e Strogatz (1998), esse modelo interpola-se entre redes regulares e aleatórias.

Por sua vez, as redes livres de escala apresentam poucos vértices ligados a muitos outros e muitos vértices ligados a poucos. São adequadas a sistemas onde existem indivíduos que se relacionam com muitos outros enquanto a grande maioria interage com poucos. Barabasi e Albert (1999) demonstraram essa característica ao explicar a conexão preferencial, uma tendência de um novo vértice se conectar a um vértice da rede que tem um grau elevado de conexões. Essa formação implica em redes com poucos vértices altamente conectados, denominados polos, e muito vértices com poucas conexões.

Outra questão que recebeu muita atenção recentemente [...] é o fato de que a distribuição de graus da maioria das redes complexas do mundo real é altamente heterogênea, muitas vezes bem ajustada a uma lei de potência: $p_k \sim k^{-\alpha}$ para um expoente α geralmente entre 2 e 3,5. Isso significa que, apesar da maioria dos vértices ter um baixo grau, existem vértices com um grau muito alto. Isso implica, geralmente, que o grau médio não é uma propriedade significativa, trazendo muito menos informação do que o expoente α , que é uma medida da heterogeneidade de graus. (Latapy, 2008, p.33, tradução própria)

Entre os índices existentes para análise das redes, a distribuição de graus indica a probabilidade de um determinado vértice ter um grau fixo. Nas redes livres de escala, a distribuição de graus é heterogênea e regida por uma lei de potência. Nas redes aleatórias, segue a distribuição de Poisson, no entanto, em muitas redes reais segue a Lei de Potência.

Existem métodos para realizar a análise topológica das redes, Watts e Strogatz criaram o que analisa a topologia mundo pequeno. Nele são utilizadas as medidas do coeficiente de aglomeração médio e de caminho mínimo médio. Essas medidas da rede em análise devem ser muito maior e similar respectivamente, quando comparadas às da rede aleatória correspondente. Já para a topologia livre de escala é considerada a existência de polos e utilizada a distribuição de grau, que quando resulta em uma lei de potência, sugere essa tipologia.

As redes também são classificadas em 1-Modo, 2-Modos e Multicamadas. Redes de 1-Modo são compostas por vértices de um único tipo que compartilham os mesmos atributos, como as redes de Coinvenção, coautoria e as semânticas que serão desenvolvidas nesse trabalho. Nas redes de 1-Modo todos os vértices possuem os mesmos atributos e relacionam-se entre si. As redes de 2-Modos, ou bipartidas, contém dois conjuntos de vértices de natureza distinta que se relacionam por meio de regras específicas. Muitas grandes redes do mundo real podem ser representadas por um gráfico bipartido, que representa as redes de dois modos ou redes de afiliação, as quais descrevem grupos e seus membros. (TOMAÉL;MARTELETO, 2013, p. 251).

Nem todos os índices que podem ser utilizadas nas redes de 1-modo são aplicáveis a redes de 2-modos devido às especificidades desse tipo de rede.

Redes multicamadas são uma aplicação mais recente da ciência das redes, resultando em uma representação onde cada sujeito pode ocupar mais um papel em ambientes ou níveis distintos. Cria caminhos entre os vértices que podem estar situados em várias camadas, com cada indivíduo representando papéis distintos em diferentes ambientes.

Enfim, a análise de redes possibilita o mapeamento da interação entre atores de determinados processos, compreendendo inclusive a sua dinâmica no decorrer do tempo.

3.2 ÍNDICES DE REDES SOCIAIS E COMPLEXAS

O grafo tem propriedades que o definem e permitem uma leitura adequada dos sistemas reais. Por ser uma estrutura matemática, possui índices que levam ao entendimento de aspectos relevantes das redes com base em aspectos quantitativos, o que torna esse método de análise particularmente vantajoso. Os índices são elementos da análise de redes que auxiliam na interpretação da interação entre atores de determinados processos, permitindo, inclusive, a compreensão da sua dinâmica no decorrer do tempo.

Conforme Barabasi (2016), na análise das redes podem ser utilizadas medidas de grau, centralidade e aglomeração. Nos índices relativos ao grau são abordados grau médio, distribuição de graus, densidade e diâmetro. Grau é o número de arestas que conectam cada vértice em determinada rede; se o grafo for direcionado, podem ser calculados os graus de entrada e de saída dos vértices. O grau médio indica o número de conexões que, em média, os vértices da rede possuem. A densidade quantifica as conexões existentes na rede em relação ao número máximo de conexões possíveis. Por fim, o diâmetro representa o caminho mais longo entre todos os caminhos mais curtos calculados entre todos os pares de vértices da rede.

Barabasi (2016) indica que as medidas de centralidade trabalham com a importância de cada vértice na rede e sua relação com os demais. A centralidade de grau mede o quanto um vértice está conectado aos outros vértices. A centralidade de proximidade indica o quanto cada vértice está próximo de todos os outros, quanto menor o valor, maior a proximidade, isto é, menor é o caminho que precisa ser percorrido para um vértice alcançar os outros. A centralidade de intermediação mostra a probabilidade de o vértice estar no caminho, ser ponte, para outros

vértices da rede. É calculada pelo somatório de todas as probabilidades de o vértice estar no caminho de outros vértices da rede; no valor zero, inexistem “pontes” para outros vértices.

Para Barabasi (2016), o coeficiente de aglomeração ou transitividade é uma medida de aglomeração que indica os conjuntos de três vértices que estão conectados, representando os agrupamentos intrínsecos as redes. No caso de um vértice conectado a dois outros, considera-se a probabilidade de esses dois vértices estarem conectados entre si. Essa medida quantifica a formação de triângulos, isto é, os conjuntos de três vértices conectados. A modularidade indica o nível de conexão entre vértices, ou seja, a força da divisão da rede para formação de clusters ou comunidades, ela fica compreendida entre 0 (totalmente desconectados) a 1 (totalmente conectados), isto é, quanto maior o valor, mais os vértices estão conectados, melhor a partição da rede. Uma partição é considerada ótima quando a modularidade é igual a 0,41, ou maior e subótima quando igual a 0,22.

Uma comunidade é um grupo de vértices que têm maior probabilidade de se conectarem uns aos outros do que aos vértices de outras comunidades. Comunidades fortes são subgrafos conectados onde seus vértices têm mais conexões com os vértices da mesma comunidade que com os vértices de outras comunidades. Os vértices estão altamente conectados e tem poucas conexões com os vértices de outras comunidades.

A depender do padrão de conexão da rede, é possível ser separado o conjunto de vértices totalmente conectados para análises específicas. Esse componente gigante (CG), segundo Andrade e Rego (2015), é a componente conexa com maior número de vértices e indica a quantidade de indivíduos que participam do maior grupo colaborativo da rede.

Especificamente neste estudo, o foco é o entendimento do ciclo de inovação da tecnologia MEOR, com vistas à transferência de tecnologia. Para tanto, foram consideradas as aplicações da ciência das redes mais adequadas a esse objetivo. Entre os diversos índices passíveis de avaliação nas redes, aquelas que contribuem com a análise proposta nesse trabalho estão detalhadas.

4. METODOLOGIA

O presente trabalho concentrou-se na investigação sobre a inovação na área de Recuperação Avançada de Petróleo por Ação Microbiana (MEOR).

Essa foi uma pesquisa exploratória e descritiva, pois, baseou-se na exposição das características do objeto de estudo e buscou estabelecer relações entre as variáveis do campo de investigação. O propósito da tese foi examinar estratégias que favoreçam a transferência, para a indústria, de tecnologias MEOR geradas em ambientes interativos (ICT-Empresa), impulsionando as patentes para aplicação e conseqüentemente para a inovação. Nesse intuito, cenários de cogeração e difusão dessas tecnologias foram estudados a partir da aplicação da análise de redes sociais e complexas e da técnica de estudo de caso. Foram utilizados dados secundários oriundas de patentes e de publicações científicas e técnicas.

A pesquisa do tipo exploratória foi empregada para, a partir de publicações científicas e técnicas, realizar uma aproximação teórica aos tópicos meio ambiente, petróleo, inovação e ciência das redes. Assim, foram reunidas informações para explorar o objeto dessa pesquisa: a difusão de inovações em tecnologias MEOR. A pesquisa descritiva, por sua vez, possibilitou a compreensão das características dos fenômenos envolvidos no objeto deste estudo. Permitiu relacionar os elementos teóricos frutos da pesquisa exploratória com as informações oriundas do estudo de caso do Projeto Petrogal-UFBA-IFBA e a análise de redes das patentes da tecnologia MEOR.

Como estratégias metodológicas foram utilizadas a pesquisa bibliográfica, a pesquisa documental, o estudo de caso e a análise de redes. O emprego dessas técnicas justificou-se em função do objetivo principal desse trabalho: examinar, a partir da análise de cenários de cogeração e difusão de tecnologias, estratégias que favoreçam a transferência para a indústria de tecnologias MEOR geradas em ambientes interativos (ICT-Empresa).

A abordagem dessa pesquisa foi quali-quantitativa. Além de ter sido contemplado pelo estudo de caso do Projeto Petrogal-UFBA-IFBA, o enfoque qualitativo proveio da interpretação e compreensão dos aspectos e relações entre as áreas estudadas a partir das publicações técnicas e científicas. Por sua vez, a abordagem quantitativa decorreu da escolha pela aplicação da análise de redes sociais e complexas às patentes MEOR que resultou em representações gráficas e indicadores estatísticos.

O Quadro 5 resumiu a concepção deste estudo, sintetizando a sequência metodológica que norteou a pesquisa. Esse quadro contém desde o elemento mais teórico e de maior abrangência que é o tema, até os elementos mais específicos e de execução da pesquisa como unidades e modos de análise de dados.

Quadro 5. Quadro Metodológico

CONTEXTO	<ul style="list-style-type: none"> - Patentes comprovam o desenvolvimento conjunto de pesquisas entre universidades/ICTs e empresas, contudo há poucas aplicações no mercado, porque a patente, por si, não induz inovação. - Restrições ambientais relativas o uso de combustíveis fósseis - Matriz energética centrada no uso de combustíveis fósseis, com grande parte da atividade humana baseada no uso desses recursos
TEMA	Inovação em tecnologias de aumento do fator de recuperação do petróleo baseadas em bioativos (MEOR).
OBJETO	Difusão de inovações em tecnologias MEOR
PROBLEMA	Com o amplo uso dos combustíveis fósseis, grande parte da população mundial contribui com as emissões de CO ₂ que geram mudanças climáticas nocivas. Contudo, a MEOR é pouco aplicada na indústria do petróleo, mesmo havendo publicações de testes de campo com resultados ambientais e econômicos favoráveis e com a existência de patentes oriundas de pesquisas conjuntas entre universidades/ICTs e empresas.
PERGUNTA	Como favorecer a difusão de inovações MEOR produzidas em interativos (ICT-Empresa) no Brasil, conciliando as especificidades da academia com as complexidades das cadeias de produção da indústria de petróleo, que envolvem os operadores e seus consorciados (empresas petrolíferas) e fornecedores de bens e serviços ?
PRESSUPOSTOS	<ol style="list-style-type: none"> 1. As restrições ambientais relativas às emissões de CO₂ e aos efluentes de água produzida gerados na indústria do petróleo favorecem a difusão das técnicas de aumento do fator de recuperação do petróleo baseadas em bioativos (MEOR) em substituição a técnicas que tradicionalmente usam produtos químicos sintéticos. 2. Estratégias adequadas facilitam a difusão das tecnologias MEOR desenvolvidas em ambientes interativos (ICT-Empresa) que não estão em aplicação, apesar de gerarem ganhos econômicos para a indústria petrolífera, ao aumentar o fator de recuperação do petróleo com baixo investimento e de resultarem em ganhos ambientais relativos à redução do uso de água e das emissões de CO₂ no processo de extração de petróleo, impactando positivamente a população que utiliza combustíveis fósseis. 3. É necessário promover o desenvolvimento da indústria do petróleo no Brasil particularmente na área dos campos maduros que estão atraindo novos players (empresas) demandantes de tecnologias que possam aumentar a produtividade da indústria.
OBJETIVO GERAL	Examinar, a partir da análise de cenários de cogeração e difusão de tecnologias, estratégias que favoreçam a transferência para a indústria de tecnologias MEOR geradas em ambientes interativos (ICT-Empresa), impulsionando as patentes para aplicação e consequentemente para a inovação.
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Examinar os impactos da transição energética na indústria do petróleo e do imperativo ambiental relativo às emissões de CO₂ e à água produzida gerada, considerando a inserção das tecnologias MEOR nesse processo. 2. Descrever e comparar tecnologias MEOR existentes e em aplicação, a partir de bases de dados de patentes e publicações científicas e técnicas. 3. Definir os atores importantes no desenvolvimento e aplicação das tecnologias MEOR, a partir de bases de dados de patentes e publicações científicas e técnicas. 4. Esclarecer a relação entre as patentes MEOR e os países produtores e receptores dessas tecnologias, por meio da identificação dos diversos atores envolvidos. 5. Compreender a dinâmica da evolução da tecnologia MEOR a partir da análise de patentes.

	6. Analisar os efeitos das abordagens de sistemas de inovação e da hélice tríplice, sobre a geração e a transferência das tecnologias MEOR.	
ANÁLISE DOS DADOS	– Análise de conteúdo - Análise de redes sociais e complexas	
TIPO DE PESQUISA	Exploratória e Descritiva	
ABORDAGEM	Quali-quantitativa	
UNIDADES DE ANÁLISE	– Patentes da tecnologia MEOR. – Publicações científicas e técnicas acerca do tema. – Documentação do Projeto Petrogal-UFBA-IFBA.	
ESTRATÉGIAS METODOLÓGICAS	– Pesquisa bibliográfica – Pesquisa documental	– Análise de redes sociais e complexas – Estudo de Caso
MARCO TEMPORAL	1980 a 2021	

Fonte: Elaboração Própria (2019).

A partir dessas definições e considerando os objetivos específicos dessa pesquisa, o desenho metodológico deste trabalho de investigação foi estruturado em quatro etapas, conforme apresentado na Figura 4: pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, análise de redes e estudo de caso do Projeto PETROGAL/IFBA/UFBA. Definido o escopo da pesquisa, foram escolhidos os métodos para coleta, seleção, tratamento e análise dos dados.

Figura 4. Modelo Metodológico

Objetivos Específicos	Desenho Metodológico	Fontes	Tratamento dos Dados	Processo de Análise
1. Examinar os impactos na indústria do petróleo, das mudanças na matriz energética e do imperativo ambiental relativo às emissões de CO2 e à água produzida gerada, considerando a inserção das tecnologias MEOR nesse processo.	Pesquisa Bibliográfica	Publicações científicas e técnicas sobre Inovação, Petróleo, Meio Ambiente e Ciência das Redes	Organização de Biblioteca Eletrônica Softwares: Excel e Editor de texto	Análise de conteúdo
2. Descrever e comparar tecnologias MEOR existentes e em aplicação, a partir de bases de dados de patentes e publicações científicas e técnicas. 3. Definir os atores importantes no desenvolvimento e aplicação das tecnologias MEOR, a partir de bases de dados de patentes e publicações científicas e técnicas.	Pesquisa Documental	Publicações científicas e técnicas Patentes	Softwares: Excel, Editor de texto, Gephi e VOSviewer	Análise de conteúdo e de Redes
	Estudo de Caso	Documentação do Projeto Petrogal-IFBA-UFBA	Software: Editor de texto	Análise de conteúdo
4. Esclarecer a relação entre as patentes da tecnologia MEOR e os países por meio da identificação dos diversos atores envolvidos.	Pesquisa Documental	Publicações científicas e técnicas Patentes	Softwares: Excel Editor de texto Gephi e Pajek	Análise de conteúdo e de Redes
5. Compreender a dinâmica da evolução da tecnologia MEOR a partir da análise de patentes	Pesquisa Documental	Patentes	Softwares: Excel Editor de texto Gephi e Pajek	Análise de Redes
6. Analisar os efeitos das abordagens de sistemas de inovação e da hélice tríplice, sobre a geração e a transferência das tecnologias MEOR.	Pesquisa Bibliográfica	Publicações sobre Inovação e Petróleo Patentes Publicações Científicas e Industriais.	Organização de Biblioteca Eletrônica Softwares: Excel Editor de texto	Análise de conteúdo
	Estudo de Caso	Documentação do Projeto Petrogal-IFBA-UFBA	Software: Editor de texto	Análise de conteúdo

A partir da análise de cenários de cogeração e difusão de tecnologias

EXAMINAR ESTRATÉGIAS QUE FAVOREÇAM A TRANSFERÊNCIA PARA A INDÚSTRIA DE TECNOLOGIAS MEOR GERADAS EM AMBIENTES INTERATIVOS (ICT-EMPRESA), IMPULSIONANDO AS PATENTES PARA APLICAÇÃO E CONSEQUENTEMENTE PARA A INOVAÇÃO.

Fonte: Adaptado de Simões, L. S., Souza, E. R. de, & Almeida, P. F. (2019)

A pesquisa bibliográfica, feita em publicações científicas e técnicas sobre os temas inovação, petróleo, meio ambiente e ciência das redes, resultou na elaboração do referencial teórico. A busca por publicações científicas e técnicas sobre aplicações em campo da tecnologia MEOR, feita no Portal de Periódicos da CAPES e na Society of Petroleum Engineers, resultou em 417 artigos publicados entre 1983 e 2020, a partir dos quais foi feita a revisão sobre MEOR. A partir dos conteúdos abordados foram definidas seis categorias e os textos foram classificados conforme indicado no Quadro 6.

Quadro 6. Categorização dos Artigos Revisados

Enfoque	Quantidade de Artigos
Aplicações em Campo	142
Laboratório	43
Microrganismos	164
Revisão	33
Conjuntura	8
Outros	27
Total	417

Fonte: Elaboração própria

Entre os 417 artigos coletados, 142 fazem referência a alguma aplicação da tecnologia MEOR em campo. A partir desses artigos, foram compilados dados de resultados oriundos de testes de campo relativos ao incremento na produção e à redução ou aproveitamento da água produzida.

A pesquisa documental foi realizada a partir de publicações técnicas, mediante a identificação das patentes da tecnologia MEOR. Foram analisadas 208 patentes, depositadas no período de 1981 a 2018. Coletadas entre 2017 e 2021, foram utilizadas para mapear a trajetória tecnológica da MEOR, destacando os seus principais componentes: métodos, técnicas e elementos predominantes, a partir da aplicação da análise de redes sociais e complexas e interpretação dos resultados à luz do referencial teórico.

Em seguida, foram apreciados os relatórios e publicações do Projeto Petrogal-UFBA-IFBA. Com base nesses resultados foram examinadas estratégias encontradas que favoreceram a transferência para a indústria de tecnologias MEOR geradas em ambientes interativos (ICT-Empresa). Por fim, foram tecidas as considerações finais com a compilação dos resultados encontrados e indicações para trabalhos futuros.

A seguir são detalhados os procedimentos adotados para a realização da pesquisa bibliográfica, da pesquisa documental em patentes, da análise de redes feita a partir das patentes coletadas e do estudo de caso do Projeto Petrogal/IFBA/UFBA.

4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA E PESQUISA DOCUMENTAL EM PATENTES

A etapa inicial desse estudo foi a pesquisa bibliográfica relativa a assuntos correlatos à inovação em tecnologias MEOR, direcionada pelos objetivos específicos indicados na Figura 4. Foram estudadas publicações técnicas e científicas, de autores relevantes, nos temas meio ambiente, petróleo, inovação e ciência das redes. As publicações foram coletadas nas bases de dados dos periódicos da CAPES e em outras fontes específicas de publicações na área do petróleo. O tratamento dos dados foi feito por análise de conteúdo.

Na temática meio ambiente foram abordadas: estratégia ambiental empresarial; transição energética e matriz energética; e contribuições da COP-21 e COP-26, com foco nos acordos mundiais sobre emissões de CO₂ e utilização de combustíveis fósseis. Para a compreensão do setor e da indústria do petróleo foram consideradas: composição, complexidade e competitividade desse setor; sua interação com área ambiental, incluindo o posicionamento frente à transição energética. Também foi dada atenção especial ao entendimento da tecnologia MEOR, sendo abordados, além dos elementos e mecanismos principais, a trajetória tecnológica, as aplicações em campo, os resultados de produção e econômicos, além dos testes e aplicações.

No tópico inovação foram abordados os elementos conceituais, trajetória tecnológica, transferência de tecnologia, hélice tríplice e sistemas de inovação; além da propriedade intelectual por meio de patentes e sua interface com a gestão do conhecimento. Mediante a aproximação teórica à Ciência das Redes, foi feito o estudo dos tópicos que contribuem para a execução da análise de dados desse trabalho: conceitos, histórico, tipos de redes e índices. O estudo desses elementos buscou esclarecer o potencial e a forma de aplicação da análise de redes sociais e complexas para compreensão do ciclo de inovação.

As publicações científicas trouxeram o estado da arte na pesquisa e desenvolvimento da MEOR, enquanto as publicações técnicas feitas por indústrias, organismos e associações, complementaram informações sobre o ciclo de inovação ao trazer as aplicações já existentes na indústria do petróleo, entre outros elementos.

Os estudos sobre Ciência das Redes foram empregados na segunda etapa, da pesquisa documental, na qual a análise de redes foi aplicada às patentes MEOR, visando o segundo, o quarto, o quinto e o sexto objetivos específicos apontados na Figura 4.

As patentes relativas à tecnologia MEOR foram o universo dessa pesquisa. As patentes são um importante instrumento na proteção da propriedade intelectual, armazenamento e divulgação dos resultados das pesquisas, muito úteis na informação sobre tecnologias. Para essa

pesquisa, as patentes trouxeram o repertório, o conhecimento acumulado e as soluções encontradas no processo de inovação em tecnologias MEOR no mundo. Na definição da amostra, optou-se pelas patentes compatíveis com a tecnologia desenvolvida no Projeto Petrogal/IFBA/UFBA, que pesquisou alternativas biotecnológicas sustentáveis para aumento do fator de recuperação de petróleo. Inicialmente foram coletadas as patentes MEOR para as quais foi solicitado registro em algum escritório de registro de patentes do mundo. A busca incluiu todas as patentes, independente do registro ter sido ou não aprovado ou ainda estar em validade. Compreendeu-se que independente da situação das patentes, suas informações sobre a tecnologia MEOR eram relevantes para os objetivos propostos neste estudo. A pesquisa documental contemplou o primeiro, segundo, quarto, quinto e sexto objetivos específicos.

A pesquisa das patentes foi feita utilizando variações do termo *Microbial Enhanced Oil Recovering* e o código específico da Classificação Internacional de Patentes (IPC) para a MEOR. Os parâmetros de busca foram os seguintes:

1. Termo: *microbial* AND enhanced AND oil AND recover**;
2. IPC Principal: E21B043-22.

As palavras-chave utilizadas na busca *microbial* enhanced oil recover** foram escritas desta forma reduzida e com asteriscos porque existem várias formas de grafia do nome da sigla MEOR por extenso em inglês. As variações ocorrem basicamente nas palavras *microbial* e recover** que, por exemplo, pode surgir como *recovery, recovered* ou *recovering*. Assim, foi possível rastrear as patentes da tecnologia MEOR, independente da forma de grafia das palavras. A Classificação Internacional de Patentes (IPC, acrônimo de *International Patent Classification*) é uma codificação alfanumérica, definida pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual, para a indexação de documentos, útil na busca de patentes.

A coleta das patentes foi realizada em três etapas, as duas primeiras ocorridas em 2017 e 2018 e a terceira, para atualização da base de dados, em 2021. Inicialmente 49 patentes foram colhidas por meio do Portal de Periódicos CAPES nas bases de dados: Scifinder e Web of Science-Derwent Innovations Index. Ainda em 2017, também foi feita busca de dados no Espacenet, mas os resultados replicaram patentes que já haviam sido encontradas nas duas bases de dados anteriormente pesquisadas. Essa primeira amostra foi utilizada para validação dessa metodologia a partir da realização de um piloto que foi apresentado no exame de qualificação.

Na segunda etapa, em 2018, foi utilizado com maior êxito o *software* Orbit Intelligence que levou a um aumento significativo dos resultados encontrados, tendo sido agregadas mais

155 patentes. Em 2020, a terceira etapa foi realizada para atualização da amostra, resultando na incorporação de 3 documentos novos localizados na base de dados Espacenet.

No total foram localizadas 308 patentes que foram verificadas e selecionadas a partir dos títulos e dos resumos, conforme especificado no Quadro 7. Algumas patentes estavam repetidas e outras não tratavam especificamente da tecnologia MEOR, mas de objetos correlatos, como máquinas e equipamentos. Excluídas as repetições, optou-se por aplicar como parâmetro para a seleção das patentes, a compatibilidade com a tecnologia desenvolvida no Projeto Petrogal/IFBA/UFBA. Para tanto foi feita uma segunda triagem, com o auxílio de um pesquisador da área de biotecnologia que fazia parte do projeto citado e as patentes compatíveis foram mantidas.

Quadro 7. Fontes do Universo e Amostra das Patentes

Bases de Dados	Patentes Encontradas	Patentes Repetidas ou Fora do Escopo	Patentes Validadas	Utilização na Pesquisa
Scifinder Derwent Innovations	66	17	49	Validação da metodologia Tese
Espacenet	54	50	4	Validação da metodologia Tese
Orbit Intelligence	188	33	155	Tese
Total	308	100	208	

Fonte: Elaborado por Conceição, M. e Simões, L. (2018)

Na primeira coleta realizada nas bases de dados Scifinder e Web of Science-Derwent Innovations Index foram localizadas 66 patentes, das quais 49 permaneceram após a seleção. Das patentes encontradas na base de dados do Espacenet, 50 já estavam no conjunto coletado anteriormente no Scifinder e na Derwent Innovations e, portanto, não foram consideradas para a seleção. As outras 188 patentes que compõem o universo da pesquisa foram coletadas no software Orbit Intelligence e após a seleção foram mantidas 155 patentes oriundas dessa fonte. Conforme apontado por Guerreiro et al. (2017), os resultados da prospecção tecnológica são influenciados pelas fontes consultadas.

Desse modo, a amostra considerada para essa pesquisa foi composta por 208 patentes da tecnologia MEOR depositadas, sendo encontradas nesse total 116 patentes e 92 famílias de patentes. Os depósitos foram feitos em diversos escritórios patentários do mundo, no período de 1980 a 2020, que passou a ser o marco temporal desta pesquisa. Os documentos completos dessas patentes foram armazenados em arquivos tipo PDF, numa biblioteca virtual.

Após selecionadas as patentes e definida a amostra, o tratamento inicial dos dados foi feito no Excel. Nessa etapa foram organizadas e armazenadas informações contidas nas patentes selecionadas. Cada patente foi decomposta em uma planilha base que foi fundamental para o trabalho de análise. Essa é uma planilha única composta por diversas colunas que juntas contêm todas as informações disponíveis nas patentes, conforme o Quadro 8.

Quadro 8. Tabela Base de Dados das Patentes da Tecnologia MEOR

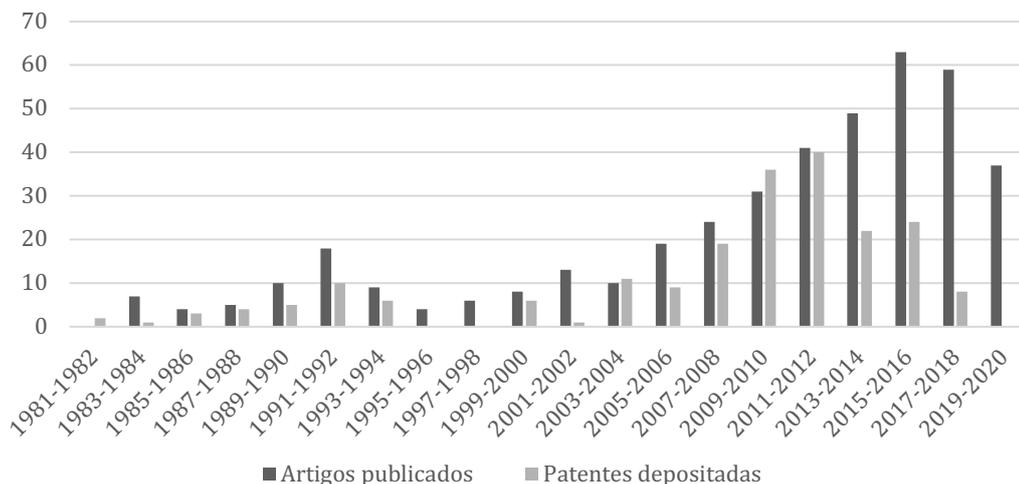
Termos de Busca	Patente										Tecnologia		
	IPC	Nº da Patente	Inventores	Instituições de pesquisa	Signatários	Data	Escritórios de depósito	Objeto	Resumo	Descrição	Microrganismos	Bioativos	Processo

Fonte: Elaboração Própria, 2017

O uso do Excel foi satisfatório para a organização e o armazenamento dos dados, entretanto, foi necessária a aplicação de outras soluções específicas em tecnologias da informação na etapa seguinte de análise dos dados.

A Figura 5 compara o quantitativo das patentes depositadas a cada ano com o das publicações analisadas neste trabalho. O interesse crescente no tema a partir do início desse século, se evidencia pelo número de publicações em artigos e de patentes. A partir de 2001 houve um considerável crescimento do interesse no tema MEOR, com o aumento tanto nas quantidades de artigos publicados quanto nas solicitações de patentes. Em alguns anos houve a publicação de um maior número de artigos: 1991 com 13 artigos, 2005 com 12 e 2008 com 18. A partir do ano de 2014, a quantidade de artigos publicados aumentou para 30 e se manteve estável a partir de então. O número de pesquisas sobre MEOR vem aumentando desde a última década do século XX (PATEL *et al.*, 2015).

Figura 5. Quantitativos de Artigos e Patentes



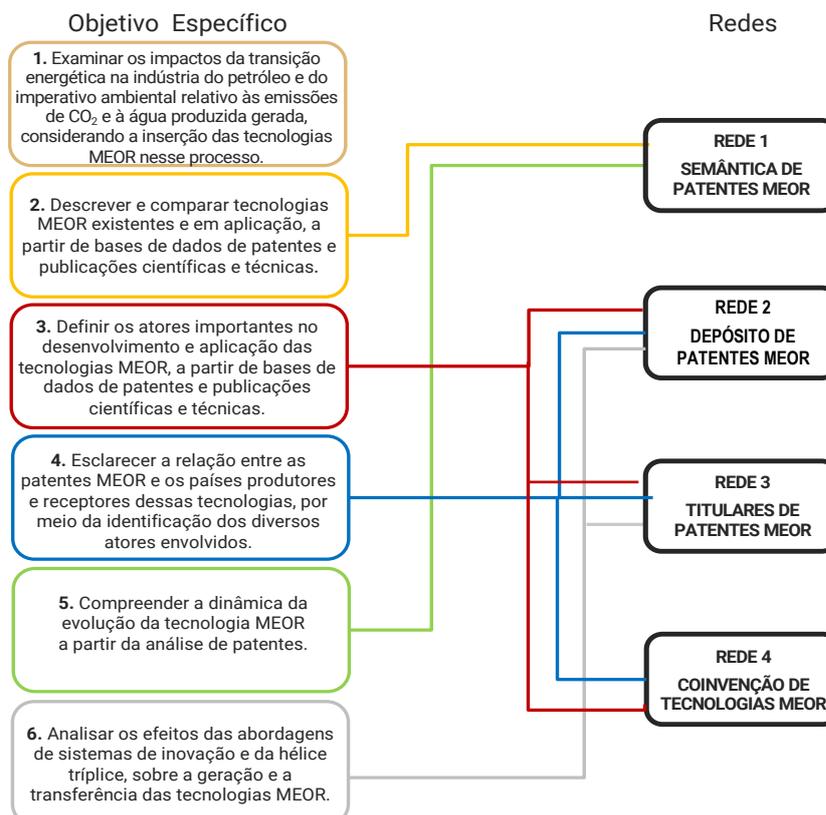
Fonte: Elaboração própria

É possível visualizar na Figura 5 que a primeira patente foi depositada em 1981, seguida por outra em 1982, havendo incremento discreto nos anos subsequentes. A partir de 2007, o número anual de depósitos de patentes aumentou consideravelmente, havendo destaque para o ano de 2010, com 24 dos 36 depósitos identificados no biênio 2009-2010. Esse incremento durou até 2012, apresentando grande decréscimo em 2017, apesar de terem sido encontradas patentes depositadas até 2018.

4.2 ANÁLISE DE REDES SOCIAIS E COMPLEXAS

Nessa etapa foi realizado o estudo das informações oriundas das patentes por meio da análise de redes sociais e complexas para compreensão do processo de inovação em tecnologia MEOR, partindo da dinâmica da produção e difusão dessas tecnologias. As redes foram meios utilizados para alcançar o segundo, o quarto, o quinto e o sexto objetivos específicos desse trabalho, mas nem sempre forneceram resultados que contemplassem plenamente o objetivo definido. Foram elaboradas as seguintes redes relativas à tecnologia MEOR: Rede Semântica de Patentes, Rede Depósito de Patentes, Rede de Titulares de Patentes e Rede de Coinvenção. A relação entre cada rede e os objetivos específicos dessa pesquisa é detalhada na Figura 6.

Figura 6. Redes definidas para a análise dos dados



Fonte: Elaboração própria (2019)

O primeiro objetivo específico foi trabalhado na pesquisa documental por meio da análise de conteúdo das publicações científicas e técnicas. A aplicação da análise de redes as patentes contribuiu com os outros cinco objetivos específicos ao possibilitar o mapeamento da dinâmica do ciclo de inovação em tecnologia MEOR, a identificação dos atores e países principais e a evolução da tecnologia no decorrer do tempo.

No planejamento das redes foram elaborados os modelos das respectivas matrizes de adjacência. As redes são grafos matemáticos e para sua elaboração são necessárias matrizes de adjacência que são planilhas que contêm as relações binárias existentes entre os vértices da rede, conforme exemplifica o Quadro 9.

Quadro 9. Exemplo de Matriz de Adjacência para gerar redes

Vértices (Inventores)	Ren,S.	Ding,M.	Zhang,S.
Ren,S.			
Ding,M.			
Zhang,S.			

Fonte: Elaboração Própria (2019)

A partir da Planilha Base criada no Excel na etapa do tratamento dos dados, as matrizes de adjacência foram preenchidas com os dados necessários para a elaboração das redes. Para cada rede, foram salvas duas planilhas em arquivos .csv: um contendo os vértices e seus atributos e outro as arestas, ou seja, as ligações existentes entre os vértices.

Nas redes de 1-modo, aquelas formadas por um único tipo de vértice, foi feita a análise topológica para avaliar se são redes mundo pequeno, livres de escala ou híbridas. O modelo de análise de Watts e Strogatz (1998) foi utilizado para avaliar a topologia mundo pequeno da seguinte forma: inicialmente, no software Gephi, foi gerada a rede aleatória equivalente à rede em análise; em seguida foram calculados e comparados o caminho mínimo médio (L) e o coeficiente de aglomeração médio (C) das duas redes. A rede foi considerada mundo pequeno quando o L foi similar em ambas as redes e o C da rede aleatória muito menor que a rede analisada. Para a aplicação desse método, redes devem ser: não dirigidas, na construção das redes não deve ter sido considerada a ordem na qual os vértices surgiram; não ponderadas, possuindo apenas arestas simples, sem peso, que é o atributo de frequência de aparecimento dos pares; sem arestas múltiplas entre os pares de vértices; devem ser redes esparsas com baixa densidade; e devem possuir apenas um componente, sendo conectadas.

Para verificar a topologia livre de escala foi feita a distribuição de graus no Gephi para identificar a existência de polos. Em seguida foi analisada a configuração de lei de potência,

para isso, a tabela com os graus foi exportada do Gephi para o Excel, onde foi gerado o gráfico, aplicada a escala logarítmica nos dois eixos e calculado o R. Quando o R se aproxima de 1 sugere uma lei de potência, com essa condição presente é possível inferir que a rede possui características do fenômeno livre de escala.

Em algumas redes também foram feitos os grafos variáveis no tempo (TVG, acrônimo de *Time-Varying Graph*) que analisam a variação da rede no tempo com relação à entrada e saída de vértices e às alterações na configuração das arestas. Nesse caso foi acrescentada a indicação de data ou período para cada vértice e aresta. Para os vértices constou a data ou período relativo à entrada e saída de cada um deles na rede. Nas arestas foi registrado o período ou data de existência do relacionamento entre o par de vértices indicado em cada linha.

Para a elaboração e análise das redes foram utilizados os softwares gratuitos Gephi e VOSviewer, além do auxílio do Excel e de Editor de Texto. O Gephi é um software de código aberto destinado à representação gráfica e exploração por meio de índices de redes sociais e complexas e análises topológicas. Já o VOSviewer possibilita a construção e visualização de redes bibliométricas e também oferece funcionalidade de mineração de texto.

O Quadro 10 detalha como os softwares foram utilizados no processo de elaboração das redes e dos seus elementos de análise.

Quadro 10. Uso de Softwares na elaboração das redes

Software	Excel	VOSviewer	Gephi
Rede Semântica de Patentes MEOR	<ul style="list-style-type: none"> - unificar os títulos, resumos e reivindicações das patentes em um única planilha contendo os dados de cada patente em uma linha - gerar um arquivo .csv dessa planilha 	<ul style="list-style-type: none"> - importar o .csv - gerar uma matriz de adjacência, o algoritmo faz a limpeza dos dados e mantém os termos que aparecem em pelo menos 3 patentes - gerar arquivo .net 	<ul style="list-style-type: none"> - exportar o arquivo .net gerado no VOSviewer para o editor de textos - uniformizar rótulos dos vértices e gerar .net - importar para o Gephi o arquivo .net ajustado e gerar a rede - formatar o aspecto visual - calcular os índices - fazer TVG - gerar rede aleatória para análise topológica - gerar arquivo.net da rede
Rede de 2-Modos Depósito de Patentes MEOR	<ul style="list-style-type: none"> - elaborar a matriz de adjacência - inserir atributos dos vértices: tipo, país e ano - gerar .csv dos vértices - gerar um arquivo.csv para o conjunto de arestas 	Não utilizado	<ul style="list-style-type: none"> - importar os arquivos .csv para gerar a rede - formatar o aspecto visual - calcular os índices - fazer os TVG - destacar as redes sociais dos polos principais - gerar arquivo.net da rede
Rede Titulares de Patentes MEOR	<ul style="list-style-type: none"> - elaborar a matriz de adjacência - inserir os atributos dos vértices: tipo, país e ano - gerar o .csv dos vértices - gerar.csv para o conjunto de arestas 	Não utilizado	<ul style="list-style-type: none"> - importar os arquivos .csv no Gephi para gerar a rede - formatar o aspecto visual - calcular os índices - fazer os TVG - gerar redes por atributos - gerar rede aleatória para análise topológica - gerar arquivo.net da rede

<p>Rede Coinvenção de Tecnologias MEOR</p>	<p>- elaborar a matriz de adjacência - inserir os atributos dos vértices: tipo, país e ano - gerar arquivo .csv dos vértices - gerar, a partir da matriz de adjacência, um arquivo.csv para o conjunto de arestas</p>	<p>Não utilizado</p>	<p>- importar os arquivos .csv - formatar o aspecto visual - destacar o componente gigante - calcular os índices - fazer os TVG - gerar componente gigante com comunidades - gerar rede aleatória para análise topológica - gerar arquivo.net da rede</p>
--	---	----------------------	---

Fonte: Elaboração Própria

O processo de elaboração e análise de cada uma das redes organizadas nessa pesquisa é detalhado a seguir.

Rede Semântica de Patentes MEOR: as redes semânticas são redes de 1-Modo constituídas por palavras ou conceitos representados pelos vértices, cujas arestas são as conexões entre as palavras que aparecem em uma mesma unidade de significado do discurso analisado, formando uma clique. Por sua vez, as cliques se conectam por vértices em comum formando a rede semântica do discurso. Essas redes possibilitam a análise da incidência e da relação de palavras em determinados textos.

A Rede Semântica de Patentes MEOR representou o conjunto de palavras que compõem os títulos, resumos e reivindicações e aparecem em três ou mais patentes estudadas. O conjunto de dados de cada patente foi considerado uma unidade de significado e as conexões entre as palavras e vértices configuram as arestas. Por meio dessa rede semântica foram identificados componentes, produtos e métodos presentes nas patentes MEOR. Dessa forma, essa rede facilitou descrever e comparar as tecnologias MEOR existentes e em aplicação, além de compreender a dinâmica da evolução da tecnologia MEOR, que são o segundo e o quinto objetivos específicos desse trabalho.

Os Objetivos da Rede Semântica de Patentes MEOR foram:

- Destacar as palavras mais importantes nos títulos, resumos e reivindicações das patentes em relação à frequência e suas conexões.
- Identificar os tipos de tecnologia, microrganismos, substâncias empregados, elementos ambientais presentes nas patentes, entre outros e acompanhar a dinâmica em termos conceituais da sua evolução no decorrer do tempo.

A partir dessas definições foi organizada uma planilha no Excel com uma coluna e várias linhas, contendo em cada uma o texto corrido formado pelo título, resumo e reivindicações de uma única patente. Como neste estudo foram analisadas 208 patentes, nessa planilha continha

209 linhas, incluindo o cabeçalho. Considerando que todos os textos deveriam estar no mesmo idioma, a planilha foi verificada e as linhas que estavam em outros idiomas foram traduzidas para o inglês, idioma no qual os textos das patentes estão majoritariamente publicados. Então foi gerado um arquivo.csv que foi importado no software VOSviewer para produzir a rede.

O algoritmo do VOSviewer exclui automaticamente palavras isentas de significado como preposições e artigos e tem a opção de escolha a partir de quantas coocorrências em linhas distintas, a palavra deve fazer parte da rede. No caso desse estudo, para evitar excesso de palavras comuns e ao mesmo tempo para não perder palavras que pudessem ser unidades e conteúdos importantes, foi definida a coocorrência da palavra em três patentes. Então, todas as palavras que constam em três patentes ou mais passaram a fazer parte dessa rede e aquelas que constavam na mesma patente foram conectadas por arestas.

Em seguida, o arquivo.net da rede elaborada no VOSviewer foi extraído e importado no Gephi para gerar uma nova rede. Com a rede pronta no Gephi foi formatado o aspecto visual, calculados os índices de redes sociais e complexas e gerada a rede aleatória. A opção de gerar a rede no Gephi foi feita devido ao aspecto visual da rede e inclusive para manter a homogeneidade nesse trabalho. A análise quantitativa foi feita utilizando vértices, arestas, peso da aresta, grau dos vértices, grau médio, distribuição de graus, densidade, coeficiente de aglomeração médio, modularidade e centralidades de grau, proximidade e intermediação. Também foi feita a análise topológica da rede e os grafos variáveis no tempo.

- *Rede Depósito de Patentes MEOR*: representou o fluxo do processo de inovação da tecnologia MEOR, especificamente a etapa na qual a invenção é encaminhada para os escritórios de registro de patentes. Essa rede forneceu subsídios para definir os atores importantes no desenvolvimento e aplicação das tecnologias MEOR, além de esclarecer a relação entre as patentes MEOR e os países, terceiro e quarto objetivos específicos. Também possibilitou analisar o posicionamento das tecnologias MEOR em relação aos sistemas de inovação e o modelo da hélice tríplice, sexto objetivo específico.

Essa é uma rede bipartida, de 2-Modos, composta por dois conjuntos de vértices que representam os titulares e os escritórios de registro de patentes que estão unidos por arestas que equivalem aos depósitos de patente feitos nos escritórios pelo titulares.

Os objetivos da Rede de 2-Modos Depósito de Patentes MEOR foram: mapear os titulares de patentes e escritórios de registro de tecnologias MEOR e conhecer a relação entre as patentes da tecnologia MEOR e os países. A partir dessas definições foi elaborada a matriz de adjacência

utilizada para a organização dos dados relativos aos vértices e arestas da rede. Para cada vértice foram inseridos os atributos tipo, país e ano de depósito e foram gerados os dois arquivos .csv relativos às arestas e aos vértices da rede. Esses .csv foram importados no Gephi para gerar a rede e com ela pronta foi calculado o grau médio e foram feitos os grafos variáveis no tempo para períodos de 10 anos e foi feito o recorte da rede social relativa à China.

Para mensurar o volume do fluxo de patentes MEOR entre os titulares e escritórios, a análise quantitativa dessa rede foi feita utilizando os vértices, arestas, grau dos vértices, grau médio, peso das arestas e as medidas de centralidade de grau de cada modo. Com a centralidade grau foi possível quantificar os depósitos de patente feitos por cada titular e as solicitações de depósitos recebidas por cada escritório. Também foi possível identificar presença de polos nos dois conjuntos, ou seja, os titulares e os escritórios mais representativos. Por ser uma rede bipartida, a distribuição de graus não foi utilizada.

- *Rede de Titulares³ de Tecnologias MEOR*: rede social focada nos titulares das patentes MEOR depositadas nos diversos escritórios de registro de patentes. Os titulares foram os vértices unidos por arestas que representaram as patentes por eles compartilhadas. Aos vértices foram adicionados os atributos tipo e país. Além de identificar os titulares, que são atores importantes no desenvolvimento e aplicação das tecnologias MEOR, essa rede apresentou a relação entre as patentes MEOR e os países, contribuindo com o terceiro e o quarto objetivo específico. Também possibilitou analisar o posicionamento dessas tecnologias em relação aos sistemas de inovação e o modelo da hélice tríplice, alvo do sexto objetivo específico.

Os Objetivos da Rede de Titulares de Tecnologias MEOR são:

- Apresentar os titulares mais importantes no processo de inovação MEOR.
- Mostrar os tipos de instituições mais importantes no processo de inovação MEOR.
- Localizar os países onde existem titulares de patentes MEOR

A análise quantitativa dessa rede foi feita utilizando índices de redes sociais e complexas. Além da análise topológica da rede foi calculada a modularidade desse conjunto de dados e observada a formação de comunidades. A análise dessa rede também foi feita particionando-a em categorias relativas aos países e por países e tipos de titulares. Os grafos variáveis no tempo foram aplicados para possibilitar a observação do comportamento das categorias de titulares no decorrer do tempo.

³ O termo titular será utilizado tanto para depositante (patente em processo de análise) quanto para titular (patente concedida).

A análise dessa rede foi complementada com resultados da pesquisa documental relativos às informações sobre titulares que atuam com aplicação das tecnologias MEOR na indústria. Foram localizadas cinco empresas que comercializam essas tecnologias a partir dos dados divulgados por elas nas suas páginas na internet.

- *Rede de Coinvenção de Tecnologias MEOR*: rede social que representou o relacionamento entre os inventores de tecnologias MEOR. É uma rede de colaboração entre inventores, considerados os vértices, estão unidos por arestas que representam as patentes por eles coinventadas. Aos vértices foi adicionado o atributo país e, por isso, além de informações sobre os inventores, que são atores importantes no desenvolvimento das tecnologias, essa rede também possibilita o conhecimento da relação entre as patentes MEOR e os países, contribuindo para o terceiro e quarto objetivos específicos dessa tese.

Os Objetivos da Rede de Coinvenção de Tecnologias MEOR são:

- Definir os inventores importantes na fase inicial do ciclo de inovação MEOR.
- Mostrar a relação existente entre os inventores de Tecnologias MEOR.

A partir dessas definições foi elaborada a planilha utilizada para a organização dos dados da rede no Excel. Para cada vértice foi inserido o atributo país e foi gerado um arquivo.csv, o qual foi importado no Gephi para gerar a rede. A análise quantitativa foi feita de acordo com a natureza e o objetivo de cada uma das quatro redes, utilizando os índices indicados no Quadro 11, apresentado a seguir. A rede semântica foi única exceção, na qual não houve análise quantitativa, mas sim qualitativa a partir da análise do conteúdo.

Essa metodologia de aplicação da análise de redes sociais e complexas para compreensão do processo de inovação em tecnologia MEOR foi validada no exame de qualificação do projeto desta pesquisa, mediante a apresentação de um teste piloto elaborado entre 2018 e 2019, com uma amostra de 49 patentes depositadas no período de 1980 a 2016.

Quadro 11. Redes definidas para a análise dos dados

ESTATÍSTICAS	SIGNIFICADO / EQUAÇÕES	INTERPRETAÇÃO NESTA REDE			
		REDE 1 SEMÁNTICA DE PATENTES MEOR Rede Semântica de 1-Modo	REDE 2 DEPÓSITO DE PATENTES MEOR Rede 2-Modos	REDE 3 TITULARES DE PATENTES MEOR Rede Social de 1-Modo	REDE 4 INVENTORES DE TECNOLOGIA MEOR Rede Social de 1-Modo
Vértices (n)	Número de elementos do conjunto V $n = V $	Palavras que aparecem em três ou mais patentes	Modo 1: Titulares Modo 2: Escritórios	Titulares	Inventores
Arestas (m)	Número de ligações entre dois vértices $m = E $	Conexões entre as palavras que aparecem em uma mesma descrição de patente	Depósito de patente feito pelo titular no escritório patentário	Patentes que os titulares compartilham	Patentes cujo objeto os inventores produziram em conjunto
Peso da Aresta	Número de vezes que uma aresta aparece. n_m	Número de ocorrência no texto de uma associação de palavras. Quantidade da aparição de um par de palavras conectado	Quantidade de patentes depositadas por um titular em um mesmo escritório	Quantidade de patentes com titularidade conjunta entre os mesmos titulares	Quantidade de patentes geradas em conjunto pelos mesmos inventores
Grau dos Vértices (k_v)	Número de conexões de um vértice Número de arestas que conectam cada vértice em uma rede $k_v = \sum_j a_{vj}, (v,j) \in E$	Quantidade de palavras com as quais uma determinada palavra está conectada	Modo 1: Quantidade de depósitos de patente feitos pelo titular Modo 2: Quantidade de depósitos de patente recebidos pelo escritório	Quantidade de titulares aos quais cada titular está ligado Com quantos titulares cada titular depositou patentes em conjunto	Quantidade de inventores aos quais cada inventor está conectado Com quantos inventores cada inventor atuou em conjunto
Grau Médio ($\langle k \rangle$)	Número médio de conexões do conjunto dos vértices $\langle k \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i$	Não aplicado	Modo 1: Média de depósitos de patente feitos pelo titular Modo 2: Média dos depósitos de patente recebidos pelo escritório	Número médio das relações de titularidade	Número médio de conexões entre os inventores
Caminho Mínimo Médio (L)	Número médio de arestas que separam todos os pares de vértices $L = \frac{1}{n \cdot (n-1)} \sum_{i \neq j} d_{ij}$	Não aplicado	Não aplicado	Indica o nível de proximidade entre os titulares	Indica o nível de proximidade entre os inventores
Distribuição de graus ($P(k)$)	Distribuição da probabilidade do número de conexões de todos os vértices da rede $P(k) = \binom{n-1}{k} p^k \cdot (1-p)^{n-1-k}$ Análise topológica Livre de Escala $P(k) \sim k^{-k}$	Não aplicado	Não aplicado	Titulares muito conectados e outros com poucas conexões	Inventores muito conectados e outros com poucas conexões

ESTATÍSTICAS	SIGNIFICADO	INTERPRETAÇÃO NESTA REDE			
		REDE 1 SEMÂNTICA DE PATENTES MEOR Rede Semântica de 1-Modo	REDE 2 DEPÓSITO DE PATENTES MEOR Rede 2-Modos	REDE 3 TITULARES DE PATENTES MEOR Rede Social de 1-Modo	REDE 4 INVENTORES DE TECNOLOGIA MEOR Rede Social de 1-Modo
Densidade (Δ)	Número de conexões existentes entre os vértices da rede em relação ao número máximo de conexões possíveis, conectividade da rede. Igual a 1 em grafos completos $\Delta = \frac{m}{\frac{n \cdot (n-1)}{2}} = \frac{2m}{n \cdot (n-1)}$	Palavras são muito relacionadas ou não	Não aplicado	Quantifica as conexões existentes entre os titulares, indica o nível da conectividade entre os titulares	Quantifica as conexões existentes entre os inventores, indica o nível da conectividade entre os inventores
Diâmetro (D)	O mais longo de todos os caminhos mais curtos calculados entre dois vértices da rede $D = \max d_{ij}$	Não aplicado	Não aplicado	Por quantos titulares um titular deve passar para alcançar o mais distante	Por quantos inventores um inventor deve passar para alcançar o mais distante
Modularidade (M)	Mensura o nível de conexão entre os vértices, força da divisão da rede para formação de comunidades: 0 (totalmente desconectados) a 1 (totalmente conectados) $M_c = \frac{1}{2L} \sum_{(i,j) \in C_c} (A_{ij} - p_{ij})$	Nível de partição entre as palavras da rede Palavras que mais se conectam na rede em relação às outras de outros clusters ou comunidades	Não aplicado	Comunidades de titulares que detêm patentes em conjunto Indica os titulares que mais se conectam na rede Quanto mais próximo de 1, mais os titulares de uma mesma comunidade têm patentes comuns entre si	Comunidades de inventores que trabalham em conjunto. Indica os que mais se conectam na rede. Quanto mais próximo de 1, mais os inventores de uma mesma comunidade trabalham em conjunto
Comunidade $C_v = \frac{m_v}{\binom{n_v}{2}}$	Particionamento em sub-grafos que representam cada comunidade da rede. Partição ótima M= 0,41, ou maior e subótima M= 0,22. Grupos de vértices conectados entre si que podem se conectar com outras comunidades e vértices	Grupo de palavras que mais se conectam em relação a outras palavras de outras comunidades	Não aplicado	Grupo de titulares mais densamente conectados no compartilhamento das patentes, em relação a titulares de outros grupos com quais podem ou não estar conectados	Grupo de inventores mais densamente conectados que trabalham juntos, mas também podem interagir com outros inventores e grupos de inventores
Componentes Conectados	Grupos de vértices conectados entre si que não se conectam com outros	Grupos de palavras conectadas que não se conectam com outras externas ao componente	Não aplicado	Grupos de titulares conectados entre si que não se conectam com outros externos ao componente	Grupos de inventores conectados entre si que não se conectam com outros externos ao componente

ESTATÍSTICAS	SIGNIFICADO	INTERPRETAÇÃO NESSA REDE			
		REDE 1 SEMÂNTICA DE PATENTES MEOR Rede Semântica de 1 Modo	REDE 2 DEPÓSITO DE PATENTES MEOR Rede 2-Modos	REDE 3 TITULARES DE PATENTES MEOR Rede Social de 1-Modo	REDE 4 INVENTORES DE TECNOLOGIA MEOR Rede Social de 1-Modo
Coefficiente de Aglomeração Médio (C_{ws})	Média das probabilidade dos vizinhos de um vértice serem vizinhos entre si. $C_{ws} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i$	Indica a aglomeração entre as palavras na rede	-	Indica proximidade entre os titulares	Indica proximidade entre os inventores
Centralidade de Grau (C_D)	Quantidade de vértices ligados ao vértice em análise. Mede o quanto um vértice está conectado aos outros. Importância de um vértice a partir da sua quantidade de vizinhos. Alta centralidade de grau identifica presença de polos $C_D(v) = \sum_j a_{vj}, (v, j) \in E$	Palavras que mais se conectam	Modo 1: Titulares que mais depositaram patentes Quanto maior, mais patentes depositadas pelo Titular Modo 2: Escritórios que receberam mais depósitos Quanto maior, mais pedidos de depósito recebidos pelo Escritório	Titulares que mais depositaram patentes em conjunto com outros titulares Indica quem são os titulares que possuem mais patentes.	Inventores que colaboram muito, produzem muito em conjunto Indica quem são os inventores que mais colaboram com as invenções patenteadas
Centralidade de Proximidade <i>Closeness</i> ($c_c(v)$)	Quantifica o caminho a ser percorrido por um vértice para alcançar os outros, ou seja, indica a distância de um vértice para os outros $c_c(v) = \frac{1}{\sum_{a \in V} d(v, a)}$	Indica as palavras que estão mais próximas	Não aplicado	Indica os titulares que estão mais próximos a outros	Indica os inventores que estão mais próximos a outros
Centralidade de Intermediação <i>Betweenness</i> ($c_B(v)$)	Probabilidade do vértice estar no caminho entre outros vértices e ser ponte entre eles. Frequência com que um vértice aparece nos caminhos mais curtos. No zero, inexistem “pontes” para outros vértices $c_B(v) = \sum_{a, b \neq v} \frac{g_{avb}}{g_{ab}}$	Palavras que conectam outras	Não aplicado	Titulares que funcionam como intermediários, são meios para alcançar outros titulares na rede	Inventores que funcionam como intermediários, são meios para alcançar outros inventores na rede

Fonte: Elaboração Própria, a partir de Barabasi (2016); Newman (2010); Watts e Strogatz (1998)

4.3 ESTUDO DE CASO DO PROJETO PETROGAL/IFBA/UFBA

Nessa etapa foi realizado o estudo de caso do projeto Petrogal/IFBA/UFBA nas esferas do segundo, terceiro e sexto objetivos específicos dessa tese concernentes à: descrever e comparar tecnologias MEOR existentes e em aplicação; definir os atores importantes no seu desenvolvimento; e analisar os efeitos das abordagens da hélice tríplice e dos sistemas de inovação sobre sua geração e transferência. O projeto, realizado no período de 2017 a 2021, foi um exemplo de cogeração de tecnologias MEOR em ambiente interativo, envolvendo a academia e empresa.

Aqui as fontes de informação foram os dados primários relativos à documentação produzida no âmbito do projeto: plano inicial, relatórios técnicos, patentes e publicações provenientes da pesquisa e resultados oriundos do desenvolvimento. Devido à sua consistência e a qualidade, essas fontes foram consideradas suficientes e permitiram estudar o caso em profundidade.

Após a coleta foi feita a análise documental e os resultados foram relacionados com os achados da pesquisa documental em patentes e da análise de redes, corroborando para a construção de conclusões robustas acerca do processo de geração e transferência de tecnologias MEOR.

5. APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE REDES À TRAJETÓRIA TECNOLÓGICA MEOR

Para o mapeamento da trajetória da tecnologia MEOR proposta neste estudo, a análise de redes sociais e complexas foi aplicada à amostra selecionada composta por 208 invenções submetidas a registro de patentes, sendo: 116 patentes e 92 famílias de patentes depositadas no período de 1981 a 2020. Cada família é formada por um grupo de patentes depositadas em países diferentes para proteção da mesma invenção.

O objetivo da aplicação da análise de redes nesse trabalho foi compreender a dinâmica de evolução e o fluxo do desenvolvimento da tecnologia MEOR, elencando os principais atores, países e componentes agregados nesse percurso: métodos, técnicas e elementos predominantes, contemplando o segundo, terceiro, quarto, quinto e sexto objetivos específicos.

Dois atributos importantes nessa etapa foram o tempo e o local, especificamente o ano e os países onde as patentes foram depositadas. No caso das famílias de patentes, a data do primeiro depósito foi conferida a todas as patentes integrantes da mesma família, no intuito de ressaltar o ano no qual aquela nova tecnologia foi inicialmente submetida ao sistema formal de propriedade intelectual.

Com base nessa amostra foram elaboradas quatro redes específicas:

- Rede Semântica de Patentes MEOR - rede de palavras que apresenta a conectividade dos termos que compõem os títulos, resumos e reivindicações das patentes. Por meio dela foram identificados componentes, produtos e métodos presentes nas patentes MEOR.
- Rede de 2-Modos Depósito de Patentes MEOR - rede bipartida que representa o fluxo do processo de inovação da tecnologia MEOR, especificamente a etapa na qual a invenção foi encaminhada para os escritórios de registro de patentes pelos titulares.
- Rede de Titulares de Patentes MEOR - rede social que contém os relacionamentos entre os titulares.
- Rede de Coinvenção de Tecnologias MEOR - também é uma rede social e um tipo de rede de colaboração que contém os relacionamentos entre os inventores.

As redes foram elaboradas e analisadas em conformidade com os procedimentos metodológicos detalhados anteriormente no item 4.2 da Metodologia. A seguir cada rede será analisada separadamente.

5.1 REDE 1: SEMÂNTICA DE PATENTES MEOR

As redes semânticas são sistemas de representação do conhecimento baseados em grafos cujos vértices são palavras e as arestas, os relacionamentos entre palavras estabelecidos por alguma regra (ROSA, 2016, p. 8). Na Rede Semântica de Patentes os vértices são os termos presentes nas patentes e as arestas são as ligações existentes entre esses termos em uma patente. Essa rede foi elaborada com a finalidade de destacar os termos mais utilizados referentes à materiais, métodos, microrganismos, substâncias empregadas e elementos predominantes relativos à tecnologia MEOR, ressaltando assim os aspectos dessa trajetória da tecnologia e exibindo a sua evolução durante o tempo. Foi construída a partir dos títulos, resumos e reivindicações das patentes. As reivindicações foram incluídas por que a extensão da proteção conferida pela patente é determinada pelo seu conteúdo, ou seja, as reivindicações definem e delimitam os direitos do autor do pedido (BRASIL, 1996). Em sua maioria, os títulos e os resumos não possuíam as características da tecnologia patenteada, informação relevante para os objetivos propostos para essa rede.

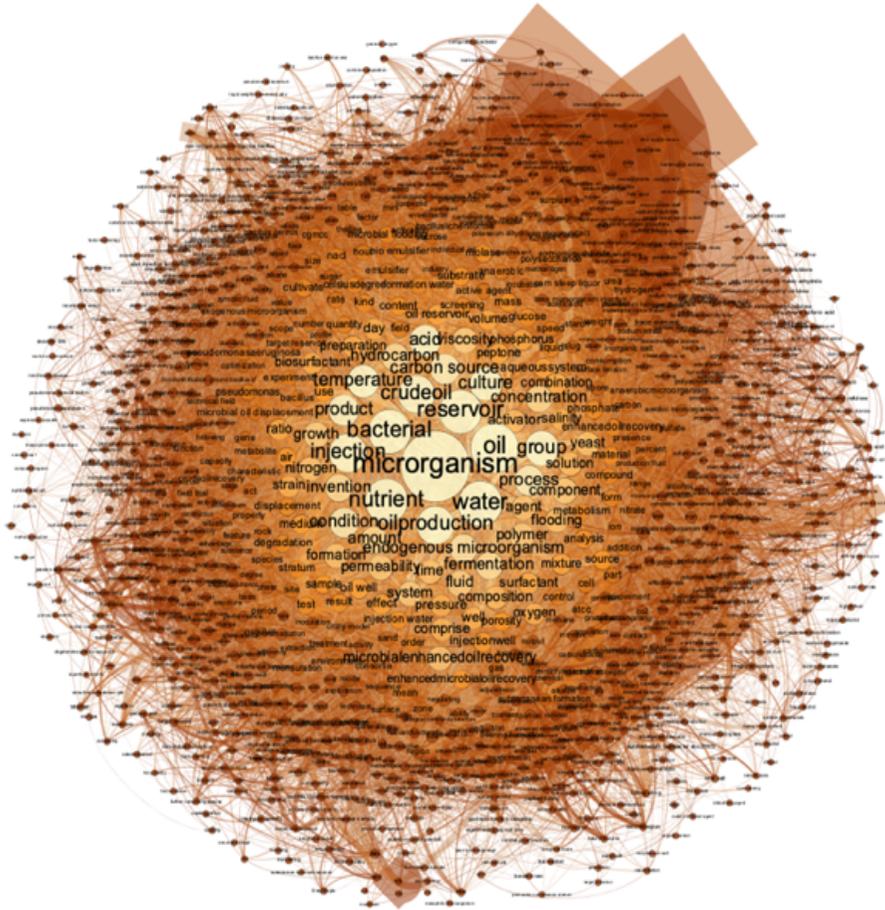
Cada conjunto, formado pelo título, resumo e reivindicação de uma patente, foi considerado uma unidade de significado cujas palavras se conectavam entre si. No tratamento dos dados foi feita a tradução para o inglês das poucas patentes que estavam em outro idioma. Em seguida foi aplicado o algoritmo do software VOZviewer, um primeiro filtro que excluiu termos como preposições e artigos e selecionou as palavras que apareciam em pelo menos três patentes para integrar a rede. As palavras que estavam na mesma patente foram conectadas na rede pelas arestas.

A rede completa foi composta por 1.115 vértices e 32.806 arestas, representando todos os termos com maior ocorrência e suas conexões. Considerando a centralidade de grau, várias das palavras que mais se destacaram foram básicas, relativas a elementos comuns da MEOR a exemplo de: microrganismos, 964 conexões; petróleo, 642; água, 583; bactéria, 565; e reservatório, 559. Contudo, além de explicitar o foco no uso de microrganismos para a recuperação de petróleo, essa rede confirmou a relevância da água como recurso importante no processo de exploração do petróleo. O grau médio dessa rede é 58.845, indicando o número de conexões que, em média, cada termo possui no conjunto de patentes analisadas.

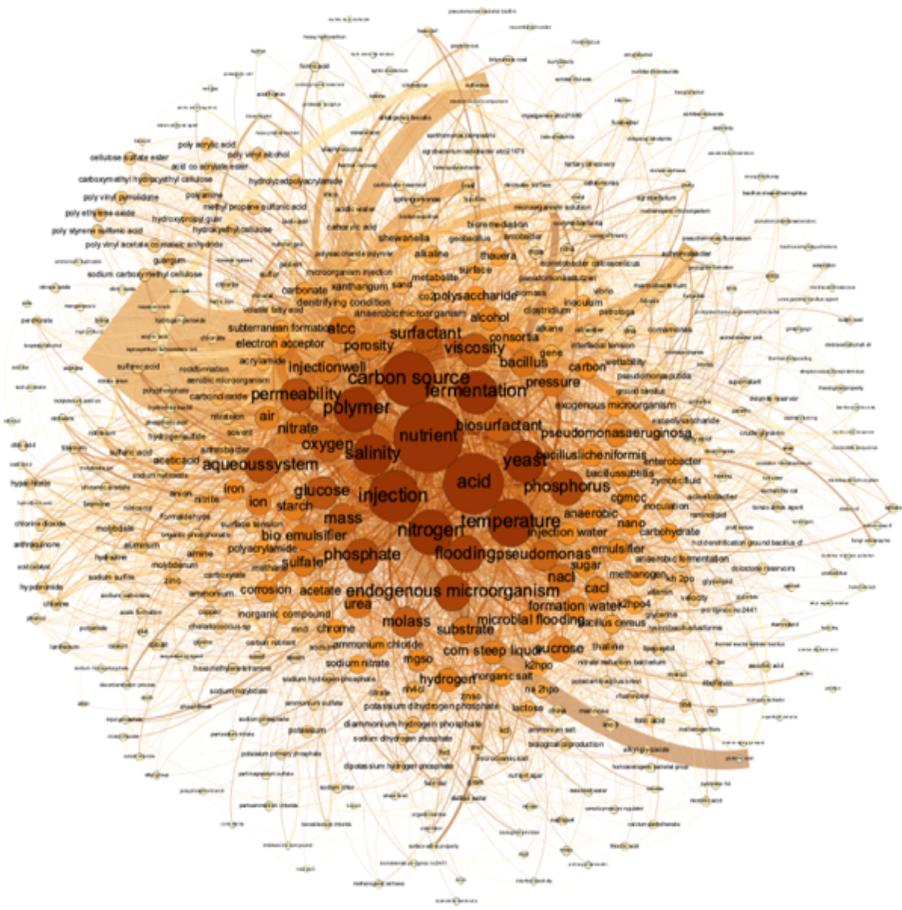
Para que houvesse maior visibilidade das palavras que revelassem especificidades relativas à tecnologia, em seguida, foram retiradas as palavras mais comuns relativas à MEOR, conforme pode ser visto na Figura 7.

Figura 7. Rede Semântica de Patentes MEOR

Discurso Completo



Miolo do Discurso



Fonte: Elaboração própria (2021)

O segundo filtro resultou no miolo do discurso das patentes e foi representado numa segunda rede que resultou em 449 vértices relativos às palavras mais frequentes concernentes às questões centrais da evolução da tecnologia MEOR. Nas duas redes, o tamanho dos vértices é proporcional à conectividade do termo. A espessura das arestas representa o peso, ou seja, quanto maior o peso, mais espessa é a aresta, indicando o número de vezes que as respectivas associações de palavras ocorreram no texto.

Desse modo, a segunda rede apresentou o miolo do discurso e foi mais relevante para a análise proposta por apontar os elementos centrais da tecnologia MEOR que puderam ser identificados a partir dos termos com maior centralidade de grau. Os índices calculados para uma melhor interpretação dessa rede estão indicados no Quadro 12:

Quadro 12. Índices Calculados para a Rede Semântica de Patentes MEOR

Índices	Valor	Interpretação
Vértices	449	Palavras que aparecem em três ou mais patentes diferentes
Arestas	5002	Conexões entre as palavras que aparecem em uma mesma patente
Grau Médio	22,281	Com quantas palavras em média as palavras se conectam
Densidade	0,05	Indica se as palavras são muito conectadas
Modularidade	0,472	Nível de partição entre as palavras da rede
Comunidades	8	Grupos de palavras que mais se conectam em relação a palavras de outros grupos
Coefficiente de aglomeração Médio	0,619	Indica a aglomeração entre as palavras nas patentes

Fonte: Elaboração própria

O grau médio indica que cada termo está conectado com outros 22.281, em média. Mas as medidas de centralidade de grau indicam a existência de termos que possuem até 8,7 vezes mais conexões que essa média. A centralidade de grau atribui a importância de um vértice à quantidade de vizinhos que possui, destacando na rede as palavras que compõem os discursos das patentes por ordem desta centralidade. Os termos com maior centralidade de grau, ou seja, com maior número de conexões são: nutriente, 194; ácido, 165; fonte de carbono, 146; injeção, 137; temperatura, 123; nitrogênio, 118; e polímero, 116. Esses mesmos termos são os que apresentam maior centralidade de proximidade, ou seja, são as palavras que estão mais próximas no discurso das patentes.

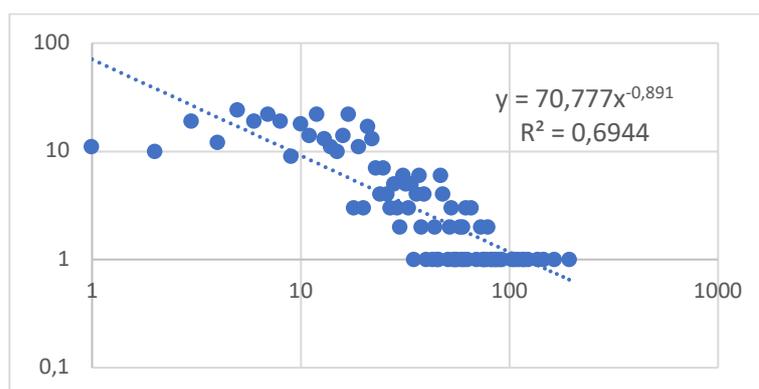
Sob o parâmetro da centralidade de intermediação, essas posições se alteram um pouco: nutriente, ácido, fonte de carbono e injeção também são as palavras que mais conectam outras; entretanto, polímero passa a ocupar a quinta posição, seguido por nitrogênio e salinidade; passando a palavra temperatura a ocupar a oitava posição.

Na Rede Semântica de Patentes MEOR, os vértices são os termos com frequência a partir de três e as arestas são as conexões entre os termos que aparecem na mesma patente. Uma vez que essas palavras se sobrepõem ou justapõem nas descrições de patentes, o fato de ter palavras/temas

em comum faz com que haja mais conexões entre as descrições de patentes formando um rede semântica com alta aglomeração (0,619) e baixo caminho mínimo médio (2,378). Esses dados sugerem que o vocabulário presente nas descrições das patentes se repete e que as descrições de patentes versam sobre conteúdos similares. A densidade de 0,05 é muito baixa, indicando que as palavras não são muito conectadas.

Foi feita análise topológica para verificar se a rede é do tipo livre de escala e/ou mundo pequeno. Inicialmente foi avaliada a topologia livre de escala, a partir da distribuição de graus apresentada na Figura 8.

Figura 8. Distribuição de Graus da Rede Semântica de Patentes MEOR



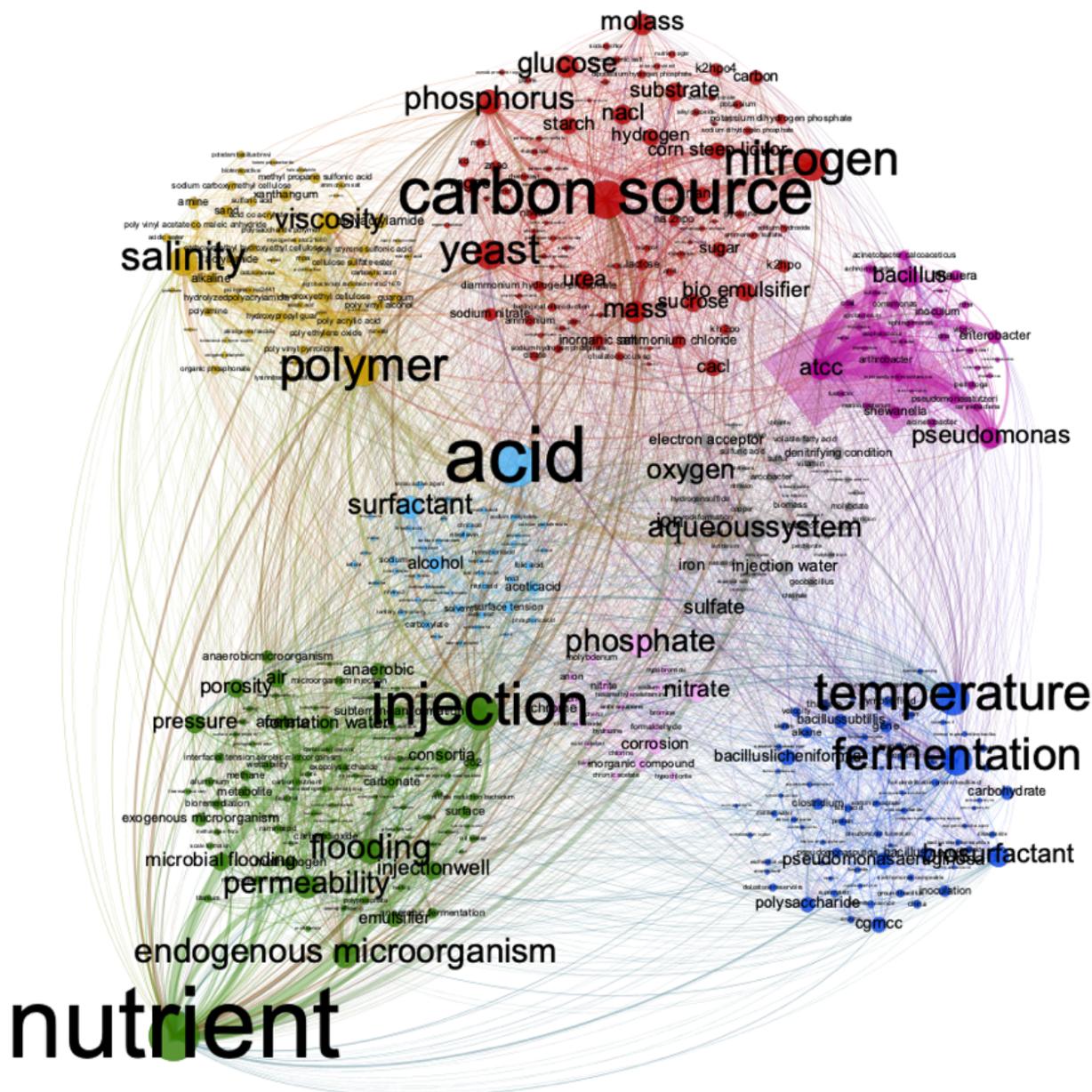
Fonte: Elaboração Própria a partir do software Gephi (2019).

A correspondência de 70% entre os dados dessa rede e a linha de tendência do gráfico sugere uma Lei de Potência. Esse achado, junto com a existência de polos, leva a inferir que a Rede Semântica de Patentes MEOR é uma rede complexa de tipologia livre de escala. Esse tipo de rede é próprio de sistemas nos quais existem alguns elementos que se relacionam com muitos outros, enquanto, a grande maioria interage com poucos. Nesse caso específico, as palavras que apresentam muitas conexões e são os polos da rede são importantes na análise de conteúdo das patentes.

Complementando o estudo topológico, a análise para rede de mundo pequeno foi feita com base nas medidas do coeficiente de aglomeração médio (Cws) e do caminho mínimo médio (L). A rede apresentou valor de Cws, de 0,619, elevado em relação ao Cws de 0,050 da rede aleatória gerada para fins dessa análise topológica. Já o L da rede, igual a 2,378, é considerado similar ao da rede aleatória cujo valor é 2,270. A partir desses valores, é possível inferir que essa também é uma rede mundo pequeno que apresenta uma pequena distância entre os vértices e alta aglomeração.

Com o intuito de identificar as palavras que mais se conectam foi aplicado o algoritmo de modularidade para fazer a divisão da rede em comunidades de palavras, conforme a representação da Figura 9.

Figura 9. Comunidades em Rede Semânticas de Patentes MEOR



Fonte: Elaboração própria (2022)

O resultado foram oito comunidades de palavras que se agruparam de acordo com a sua presença em conjunto nas diversas patentes. Contudo, em cada comunidade permaneceram várias palavras desconectadas. A modularidade da rede, de 0,472, indica partição ótima, significando que as comunidade são bem delimitadas e existem temas comuns a grupos de patentes.

As palavras mais conectadas de cada uma das comunidades, com sua respectiva centralidade de grau, são: nutriente, 194; ácido, 165; fonte de carbono, 146; temperatura, 123; polímero, 116;

fosfato, 86; sistema aquoso, 82 e pseudomonas, 70. Essas palavras são elementos de coesão dos discursos das patentes, sendo, portanto, temas importantes na tecnologia MEOR.

Na primeira comunidade, a palavra nutriente foi mais a representativa de todas e está conectada elementos relativos às tecnologias MEOR *in situ*: injeção, microrganismo indígena, pressão e porosidade, entre outras. Apesar de todas essas palavras referirem-se aos métodos *in situ*, à exceção das palavras injeção e microrganismo indígena, todas as outras também são utilizadas no âmbito dos métodos *ex situ*. Observa-se que esse conjunto de palavras principais aproxima-se de tecnologias *in situ*, focadas na injeção de nutrientes e microrganismos indígenas que os consomem, produzindo gases que aumentam a pressão nos reservatórios que são porosos, possibilitando o aumento do fator de recuperação.

Por outro lado, as quatro comunidades apresentadas a seguir trazem elementos característicos da MEOR *ex situ*, embora vários desses termos também sejam empregados na MEOR *in situ*. A segunda comunidade mais representativa trouxe a palavra fonte de carbono junto com levedura, nitrogênio, fósforo, glicose, hidrogênio, NaCl, ureia entre outras. Esses elementos referem-se a nutrientes injetados no poço e consumidos por leveduras que demandam meio salino. A terceira comunidade, na qual temperatura é palavra principal, contém os termos fermentação, biossurfactante, polissacarídeo, carboidrato e diversos tipos de pseudomonas e de bacilos. Esse conjunto de palavras sugere a injeção de nutrientes (polissacarídeos e carboidratos) e microrganismos, entre eles as pseudomonas que produzem biossurfactantes que ajudam a desgrudar o petróleo retido no poço. A quarta comunidade contém a palavra polímero agregando: salinidade, viscosidade, goma xantana, fosfonato orgânico, alcalino, carboximetilcelulose de sódio, entre outras. Polímeros aumentam a viscosidade do líquido de injeção, possibilitando a saída de maior quantidade de petróleo dos poros. A goma xantana é um biopolímero produzido pelas xantomonas que requerem meios salinos. A quinta comunidade, cujo termo principal é pseudomonas, é pequena e contém as palavras bacilos, atcc, shewanella, enterobactérias e outras. Sugere estudos focados em bactérias uma vez que além de nomes de microrganismos e traz a sigla atcc que se refere a registro de cepa.

Na sexta comunidade, onde a palavra ácido é a principal, estão substâncias do processo da EOR química: ácido, surfactante, álcool, ácido acético, solvente, entre outras. Entretanto, esses termos também são próprios da extração de surfactante para injeção no poço no processo MEOR *ex situ*: após as pseudomonas produzirem o surfactante, sua extração é feita com lavagem de álcool, ácidos e outros solvente como álcool acético. Na sétima comunidade, que tem sistema aquoso como polo, estão as palavras oxigênio, íon, ferro sulfato, injeção de água, biomassa, entre outros. Aqui,

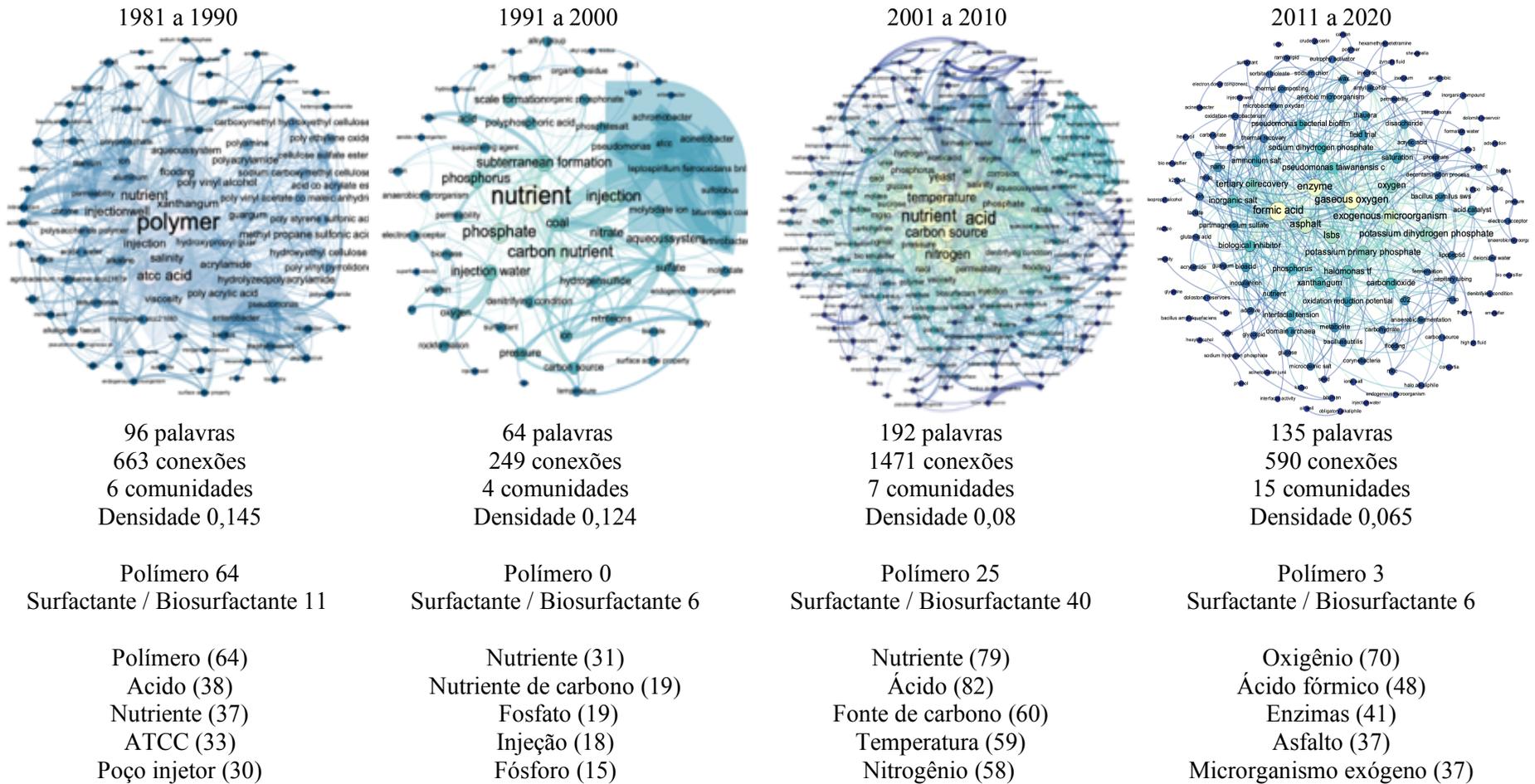
além da injeção de água, o uso da MEOR no tratamento de resíduos é sugerido em função da presença dos termos biomassa e ferro. A oitava e menor comunidade tem a palavra fosfato como principal, sendo acompanhada por nitrato, corrosão, composto inorgânico, nitrito e anión, entre outras. Esses termos fazem alusão ao uso de nitrato para conter as bactérias que produzem sulfato que em contato com água vira ácido sulfúrico, substância corrosiva que afeta as tubulações de metal das instalações dos poços.

Para entender a dinâmica temporal dos textos das patentes foram construídos os grafos variáveis no tempo (TVG, acrônimo de *Time-Varying Graphs*). A rede foi dividida em quatro gráficos com intervalo de 10 anos, englobando o período de 1981 a 2020. O terceiro e o quarto períodos foram os mais expressivos, cada um contendo 192 e 135 vértices ou termos, respectivamente. Nesses períodos estão os anos de 2009 a 2012 nos quais houve grande aumento no volume de patentes depositadas: 36 entre 2009-2010 e 40 entre 2011-2012. O número de depósitos permaneceu acima da média habitual até 2016, apesar da redução para 22 em 2013-2014. Em 2017 houve uma redução expressiva para 8 depósitos, tendência que se manteve até o ano de 2020, final do marco temporal dessa pesquisa.

Apesar de haver um maior número de vértices no terceiro e no quarto período, as densidades dessas redes, 0,080 e 0,065, são menores que nos períodos iniciais, indicando baixa conectividade entre as palavras. Esse pode ser um indício de que o discurso se tornou menos homogêneo durante os períodos de maior produção de patentes em decorrência de uma maior diversidade de tecnologias incluídas. No primeiro e no segundo período, quando houve menor número de patentes e as densidades, embora ainda baixas, são números mais expressivas, 0,145 e 0,124, infere-se que o discurso é mais homogêneo em relação às tecnologias empregadas nas patentes.

O comportamento do TVG da Rede Semântica de Patentes MEOR apresentou uma mudança nas unidades de significado das patentes no decorrer do tempo, conforme apresentado na Figura 10. Para essa análise foi utilizada a centralidade de grau que atribui a importância de cada vértice à quantidade de vizinhos que possui, destacando na rede as palavras que compõem os discursos por ordem desta medida.

Figura 10. TVG Rede Semântica



Fonte: Elaboração própria (2021)

Considerando a centralidade de grau, as palavras mais frequentes no primeiro período foram: polímero (64), ácido (38), nutriente (37), ATCC (33), poço injetor (30), injeção (28), goma xantana (27) e salinidade (26). Este conjunto de palavras que remete ao método *in situ*; sugerindo o interesse por tecnologias que aumentassem a viscosidade do líquido de injeção, com vistas ao aumento do fator de recuperação. No segundo período, quando a rede foi menor, passou a ser dada mais importância aos nutrientes, tendência mantida também no período seguinte. As palavras principais no segundo período foram: nutriente (31), nutriente de carbono (19), fosfato (19), injeção (18), fósforo (15), formação subterrânea (15), carvão (14) e injeção de água (14); o interesse maior era pelos nutrientes as serem injetados. Já no terceiro período, quando houve um maior número de depósitos de patentes, a rede ficou maior. A palavra nutriente (79) permaneceu, precedida por ácido (82) e seguida por fonte de carbono (60), temperatura (59), nitrogênio (58) e levedura (49). No último período, o obtiveram destaque: oxigênio (70), ácido fórmico (48), enzimas (41), asfalto (37) e microrganismo exógeno (37), remetendo ao método *ex situ*.

Ainda a partir da centralidade de grau foi feito um exame mais profundo sobre a conectividade dos termos polímeros e surfactantes, essenciais para a compreensão da trajetória tecnológica MEOR. O termo polímeros (116) conecta-se menos que o termo surfactante (78) somado a biosurfactante (73). Ainda assim foi feita a análise de conteúdo das patentes que utilizam o termo polímeros para verificar se fazem referência à polímeros solúveis em água ou polímeros surfactantes. O resultado encontrado foi que das 31 patentes nas quais há referência à polímeros, 6 tratam de polímeros solúveis em água, e a grande maioria, 25 patentes, de polímeros surfactantes. Percebe-se aqui que a estratégia tecnológica definida pelo uso de surfactantes na MEOR, apresentada na revisão bibliográfica, também aparece como muito relevante nas patentes. Assim, ficou confirmada a tendência atual do uso de surfactantes, identificada na pesquisa bibliográfica, sendo que no início do desenvolvimento da tecnologia MEOR os polímeros foram mais utilizados.

Conforme indicado na Figura 10, com centralidades de grau 64 e 11 respectivamente, houve maior presença do termo Polímero do que Surfactantes/Biosurfactantes na rede do primeiro período. Houve uma mudança no segundo período quando a palavra polímero não apareceu, enquanto Surfactantes/Biosurfactantes, embora em pequena quantidade, esteve presente com grau 6. No terceiro período houve uma inversão: Polímero com menor quantidade, 25 e Surfactantes/Biosurfactantes, 40, com incremento. No último período ambos os termos foram pouco mencionados, ainda assim Surfactantes/Biosurfactantes com 6 apareceu mais do que Polímero com 3.

Na Rede Ego Água, a palavra injeção aparece como segundo vértice mais importante com 103 conexões, seguida pelo termo nutriente com 93 conexões, indicando a injeção de nutrientes diluídos em água, peculiar da MEOR. Esse achado indica de que as tecnologias MEOR que reinjetam a água produzida são potencialmente amigáveis do ponto de vista ambiental. Outros vértices representativos nessa rede são: carbono, ar, oxigênio, sistema aquoso, solução de microrganismos, polímero e fonte de carbono, indicando elementos do processos da MEOR *in situ* referentes à injeção de nutrientes e/ou microrganismos em solução aquosa no reservatório. Essa rede confirma informações disponíveis na literatura de que a injeção da água, intrínseca ao processo de exploração de petróleo, é abordada no âmbito das tecnologias MEOR, sendo inclusive reduzida com as suas aplicações.

Por fim, a Rede Semântica de Patentes MEOR foi elaborada com os objetivos específicos de descrever e comparar tecnologias existentes e em aplicação e de compreender a dinâmica da evolução dessa tecnologia. Sua análise possibilitou destacar os termos mais utilizados referentes aos materiais, métodos, microrganismos, substâncias empregadas e elementos predominantes na MEOR. Foram ressaltados assim, aspectos relativos à trajetória tecnológica MEOR, exibindo a sua evolução durante o tempo. Essa rede indicou um discurso mais homogêneo do que heterogêneo com relação aos temas específicos da MEOR que aparecem de forma recorrente nas patentes. Foi notada a presença predominante de elementos próprios da MEOR *in situ*, como injeção de nutrientes e microrganismos. Também foi possível destacar a mudança da tendência do uso de polímeros ocorrida na primeiras patentes, para o uso de surfactantes e biosurfactantes.

5.2 REDE 2: DEPÓSITO DE PATENTES MEOR

A Rede de 2-Modos Depósito de Patentes MEOR é uma rede bipartida, na qual a partir dos depósitos de patentes submetidos pelos titulares aos escritórios patentários foram representadas as relações existentes entre esses dois atores do ciclo de inovação. Nessa rede, além da identificação dos titulares (modo 1), e dos escritórios de registro (modo 2) relevantes no ciclo de inovação MEOR com suas conexões, foram especificadas as relações existentes entre as patentes da tecnologia MEOR e os países. Também foi representado como toda essa dinâmica tem sido alterada no decorrer do tempo. Enfim, essa rede bipartida foi utilizada para compreender o fluxo e traçar a trajetória da tecnologia MEOR no mundo a partir da evolução dos pedidos de registro de patentes nos escritórios dos diversos países. Latapy (2008) diz que na rede bipartida ou rede de 2-modos,

os vértices estão em dois conjuntos disjuntos, e as ligações estão sempre entre um vértice de um conjunto e um vértice do outro. Em outras palavras, não pode haver nenhuma conexão entre dois vértices no mesmo conjunto.

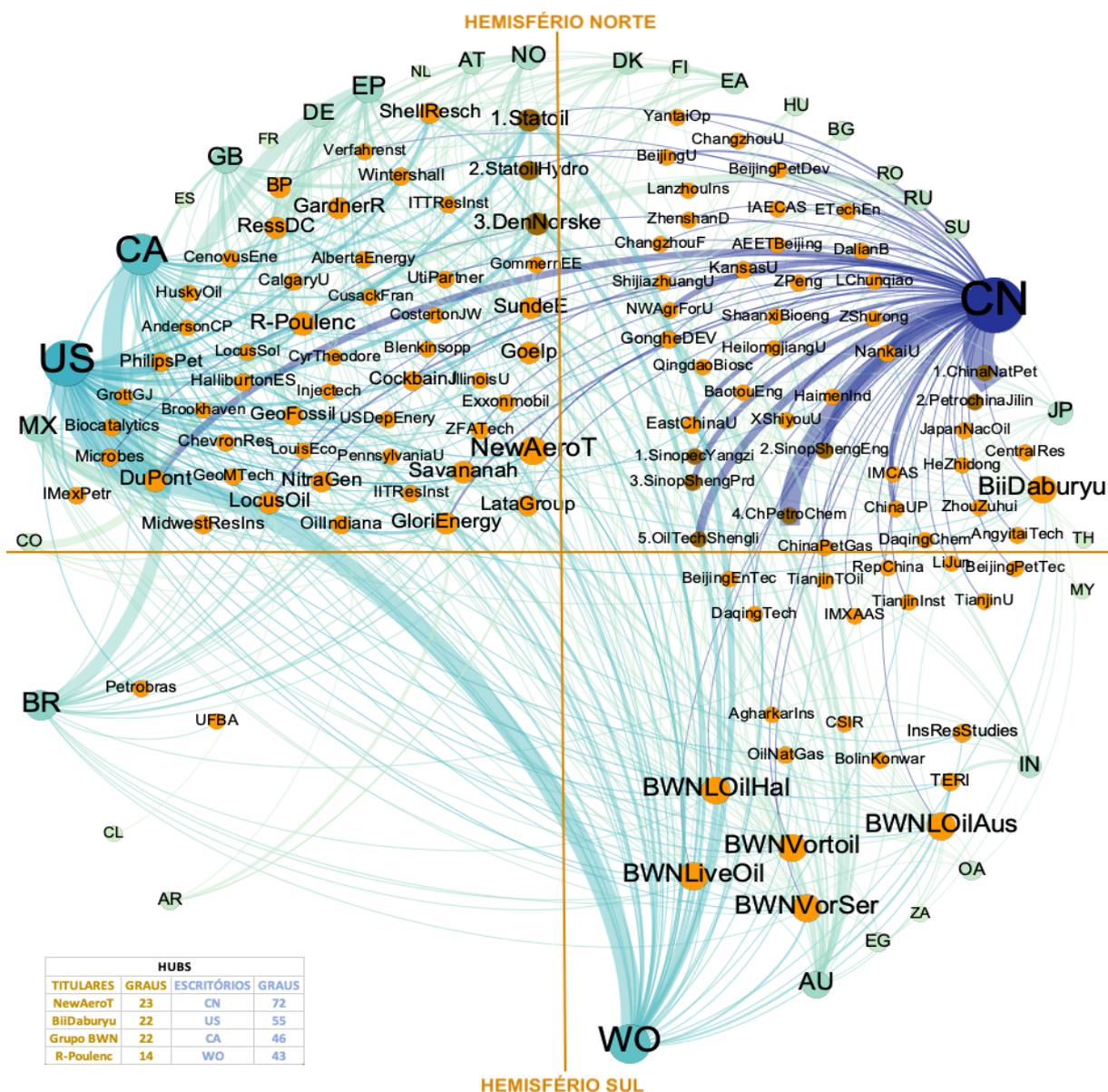
A construção dessa rede considerou o conceito da WIPO de que as patentes são territoriais, uma vez que a proteção é concedida dentro de um país sob sua lei nacional. Os titulares, que podem ser inventores, empresas, universidades/ICTs ou entes governamentais, devem decidir em quais territórios desejam a proteção patentária. Essa é uma decisão importante, pois, cada escritório cobra taxas para depósito e processamento de pedidos, além de taxas periódicas para manter a patente concedida.

O custo de lidar com diferentes sistemas jurídicos nacionais pode ser alto, pois as leis e práticas podem variar muito e os requerentes geralmente precisarão pagar pela representação feita por um agente de patentes autorizado em cada país. Vários grupos de países desenvolveram sistemas regionais de patentes que ajudam a reduzir esses custos, por exemplo, a Organização Regional Africana de Propriedade Intelectual (ARIPO). Na maioria desses sistemas, um requerente solicita proteção para uma invenção em um ou mais países do grupo, e cada país decide se oferece proteção de patente dentro de suas fronteiras. A WIPO administra o Sistema PCT, um sistema internacional que permite aos requerentes solicitar proteção sob o Tratado de Cooperação de Patentes em quantos estados desejarem por meio de um único pedido. (WIPO, 2020, p. 7, tradução própria)

Assim, na rede apresentada na Figura 12, é possível visualizar o fluxo da tecnologia MEOR no mundo a partir das relações entre os titulares das patentes e os escritórios nos quais as patentes foram depositadas, ou seja, os titulares se conectam aos escritórios de registro de patentes a partir dos pedidos de depósito. Essa é uma rede não dirigida, por que o sentido do fluxo do relacionamento entre os atores não é uma informação relevante na análise desse conjunto, uma vez que foram considerados todos os pedidos de patentes que deram entrada nos escritórios, não sendo consideradas as respostas do escritório, nem a concessão ou indeferimento do pedido.

Essa rede é composta por um total de 151 vértices, cujo tamanho é proporcional à quantidade de conexões que cada vértice possui. No modo 1, em laranja, 117 vértices representam os titulares das patentes, o tamanho dos vértices representa o número de patentes sob a titularidade de cada ator. No modo 2, em azul, estão os 33 vértices relativos aos escritórios de registro de patentes e o tamanho dos vértices é proporcional à quantidade de patentes registradas nos respectivos escritórios. As arestas indicam em quais escritórios cada titular solicitou registro de patentes e totalizam 494 conexões. A espessura de cada aresta é proporcional ao seu peso, ou seja, a quantidade de patentes depositadas por um titular em um mesmo escritório. O número de arestas é maior que o de titulares, indicando que cada titular tem registros de patentes solicitados em quatro escritórios em média, gerando escritórios com maior procura que outros.

Figura 12. Rede de 2-Modos Depósito de Patentes de Tecnologias MEOR



Observação: Apesar de estar localizado na Suíça, o escritório da WIPO, indicado pela sigla WO foi alocado na parte relativa ao hemisfério sul sem seguir a correta posição geográfica, por questões de melhor visualização gráfica.

Fonte: Elaboração Própria

Os vértices de cor marrom e que estão numerados são do modo 1 e referem-se a empresas que foram fundidas ou fazem parte da mesma *holding*. Nessa rede optou-se por não reuni-las por em algumas patentes essas empresas constarem como cotitulares. Foram identificados dois grupos com essa situação, o primeiro composto pelas empresas: 1.Statoil Petroleum, 2.Statoil Hydro e 3. Den Norske Stats Oljeselskap que juntos passaram a ser Statoil Petroleum que recentemente foi transformada em Equinor. O segundo composto por: 1. Chemical Corporation Sinopec Yangzi Petrochemical, 2. Corporation Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering Shengli, 3. Oil

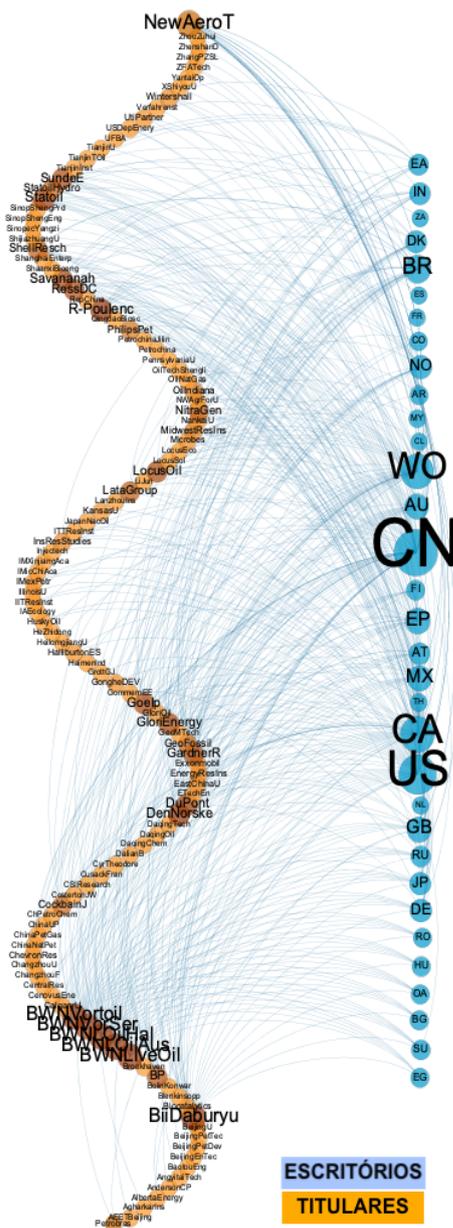
Production Technology Research Institute of Sinopec Shengli Oilfield, 4. China Petroleum and Chemical Corporation e 5. Oil Products Technology Institute Shengli Oil que fazem parte do grupo Sinopec.

Nessa representação, os vértices do Modo-2, referentes aos escritórios, foram localizados nas posições relativas aos países nos quais se encontram: na parte superior da figura estão os vértices localizados nos países do hemisfério norte e na parte inferior os do hemisfério sul. Na parte superior direita estão vértices relativos a parte dos países da Europa, do Leste Europeu e da Ásia. Na parte inferior direita encontram-se os relativos à Austrália, Índia e África. No lado esquerdo inferior estão os escritórios da América do Sul e no lado esquerdo superior, os relativos aos países da América do Norte e Europa Oeste. Devido as muitas arestas que possui, caso fosse alocado no hemisfério norte dificultaria a visualização de outros vértices da rede. Para obter uma visualização mais clara da rede, optou-se por essa forma de representação em vez de utilizar os *layouts* específicos do Gephi Geo Layout e Map of Countries. Esses *layouts* são ferramentas que georreferenciam a rede, distribuindo os vértices no mapa-múndi sobre os respectivos países em função das coordenadas gráficas. Contudo, como foi demonstrado no teste da metodologia, o resultado dessa rede nesse tipo de *layout* é um aglomerado de vértices de difícil visualização em algumas regiões.

O gráfico evidenciou uma concentração do fluxo da tecnologia MEOR nos países do hemisfério norte, haja vista a maior quantidade de vértices dos dois modos na Europa Oeste e na América do Norte. Na Ásia destacou-se o número expressivo de 70 titulares solicitando registro patentes no escritório da China.

A Figura 13 é outra forma de representação gráfica da Rede de 2-Modos Depósito de Patentes MEOR, trazendo a visualização dos dois modos em separado. O Modo 1, relativo aos titulares de patentes, está em laranja à esquerda. A New Aero Technology, empresa de petróleo e gás natural dos Estados Unidos, é o principal vértice desse modo com maior centralidade de grau 23. Significa que essa empresa submeteu a diversos escritórios 23 pedidos de registro de patentes MEOR relativos a 3 famílias de patentes. Em seguida, os polos são Bii Daburyu Enu Raibu Oiru, empresa do Japão, e as cinco empresas do grupo BWN Oil e Vortoil da Austrália com centralidade de grau 22 relativa a uma família de patente compartilhada entre esses 6 titulares. Seguem Rhone-Poulenc Specialites Chimiques, empresa química do Canadá, 14, e, a petrolífera norueguesa Statoil também com 14, referentes à 1 e 3 famílias de patentes respectivamente.

Figura 13. Modos da Rede de 2-Modos Ciclo de Inovação de Tecnologias MEOR



Fonte: Elaboração Própria

Com relação às patentes brasileiras foi localizada uma da Universidade Federal da Bahia (UFBA) depositada no Brasil e uma família com duas patentes da Petrobras depositadas no Brasil e EUA.

No Modo 2, representado em azul à direita, estão os escritórios de registro de patentes. O principal polo é o escritório da China, com centralidade de grau 70, indicando que esse escritório recebeu 70 pedidos de registro de patentes. Essas solicitações foram provenientes de 70 titulares

diferentes. Em seguida aparecem como polos os escritórios dos Estados Unidos (56) e do Canadá (47). O Brasil (27) está em 5º lugar, após a WIPO (44).

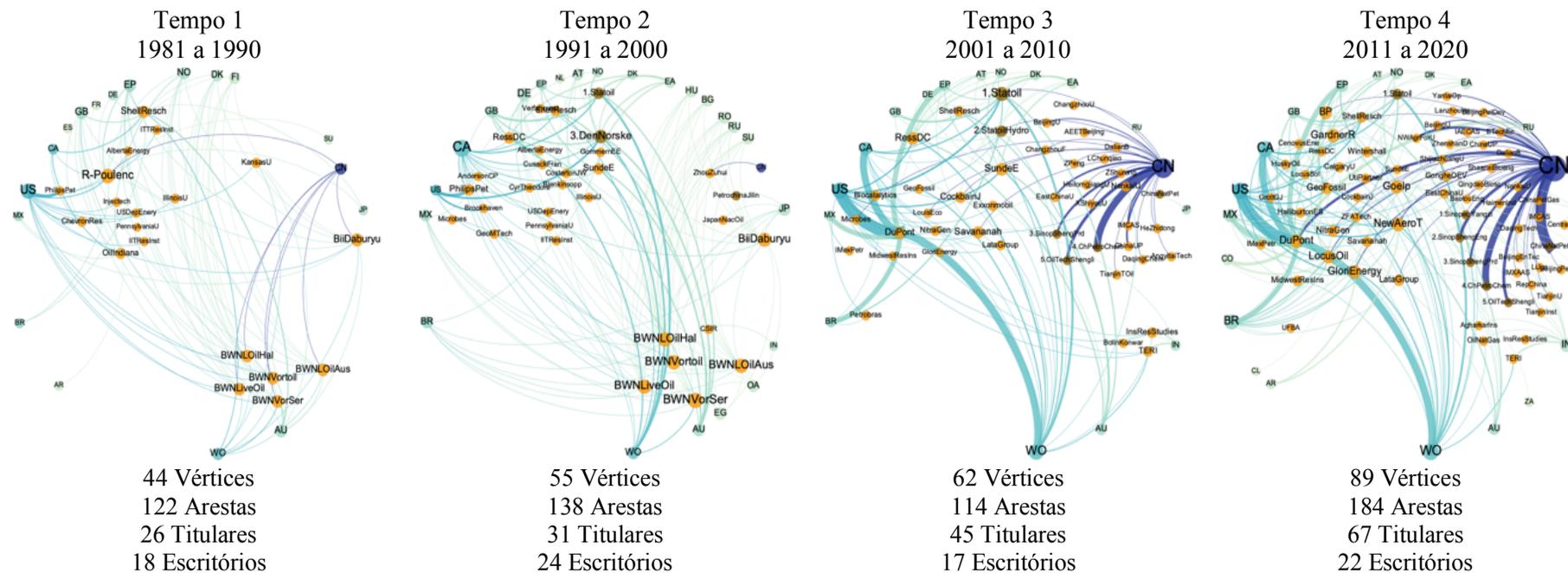
A grande maioria das patentes MEOR, 123 famílias, é internacional, enquanto 85 patentes são domésticas, ou seja, registradas em um único país. Apenas a patente da empresa americana Locus Solution foi depositada unicamente no escritório mundial. Nem toda patente internacional deve obrigatoriamente passar pela WIPO, mas em função do Patent Cooperation Treaty (PCT) essa prática tem sido adotada. O protocolo PCT requer na primeira fase (internacional) o pedido no OMPI (WO), e depois nas fases nacionais, dá-se entrada em cada país escolhido. Na amostra analisada, das 123 famílias de patentes internacionais, 41 também foram registradas na WIPO. Entre as 85 patentes MEOR domésticas, 69 são de titulares chineses, 11 de americanos e canadenses, alemães, japoneses, indianos e brasileiros detêm 1 patente cada um.

Para observar como se deu a evolução das solicitações de registro de patentes no tempo foi feito o TVG dessa rede com quatro redes geradas com intervalos de 10 anos. Os grafos variáveis no tempo (TVG) são uma ferramenta de análise de redes que permite perceber a evolução do comportamento de um sistema ao longo do tempo.

Como pode ser observado na Figura 14, o comportamento do TVG da Rede de 2-Modos Depósito de Patentes MEOR indicou uma mudança nos escritórios preferenciais para registro de patentes no decorrer do tempo, apesar de vários escritórios estarem presentes nos quatro intervalos de tempo observados. Os três principais polos da rede completa expostos anteriormente, China, Estados Unidos e Canadá, apresentam comportamentos distintos no decorrer do tempo. O Quadro 13 apresentado em sequência à Figura 15, especifica os polos principais dos dois modos com seus graus a cada período, indicando respectivamente a quantidade de depósitos de patente feitos pelos titulares e a quantidade de solicitações de depósitos recebidas pelos escritórios.

Apesar do escritório da China aparecer como polo principal na rede completa, o TVG demonstra que ele apenas começou a se destacar no cenário de patenteamento de tecnologias a partir de 2001, assumindo o primeiro lugar como polo principal e mantendo-se nessa posição até final do período analisado. Comportamento esperado, uma vez que em dezembro de 2001 a China ingressou na Organização Mundial do Comércio (OMC), que alterou substancialmente as normas internacionais relativas à propriedade intelectual, por meio do *Agreement on Trade-Related Aspects of Intellectual Property Rights* (Acordo TRIPs).

Figura 14. TVG Rede de 2-Modos Depósito de Patentes MEOR



Fonte: Elaboração própria

Quadro 13. Centralidade de Graus dos Polos do TVG da Rede de 2-Modos Depósito de Patentes em Tecnologia MEOR

Tempo 1 - 1981 a 1990		Tempo 2 - 1991 a 2000		Tempo 3 - 2001 a 2010		Tempo 4 - 2011 a 2020	
Modo 1 - Escritório	Modo 2 - Titular	Modo 1 - Escritório	Modo 2 - Titular	Modo 1 - Escritório	Modo 2 - Titular	Modo 1 - Escritório	Modo 2 - Titular
US - 16		CA - 19		CN - 27	Statoil - 13	CN - 27	NewAero - 23
GB - 10	R-Poulenc - 14	DE - 10	BWNVorSer - 15	US - 17	RessDC - 9	US - 17	Statoil - 13
AU - 9	BiiDaburyu - 13	JP - 8	Outras 4 empresas do	WO - 16	SundeE - 9	WO - 16	GardnerR - 1 1
CA - 9	Grupo BWN - 12	WO - 8	Grupo BWN - 13	CA - 10	Savannah - 8	CA - 10	Goelp - 11
EP - 9		AU / BR / GB - 7		AU - 5	DuPont - 7	AU - 5	LocusOil - 11

Fonte: Elaboração Própria

O escritório do Canadá e o da Austrália apareceram como dois dos cinco mais relevantes nos quatro períodos. O escritório da Austrália não é um dos polos principais da rede completa, contudo, o resultado do TVG indica a importância desse país no cenário de desenvolvimento de tecnologias MEOR. Por fim, os Estados Unidos permanecem como um dos cinco principais polos no primeiro, terceiro e quarto períodos. O escritório da Grã-Bretanha destacou-se nos dois primeiros períodos. O escritório mundial da WIPO passou a ocupar posição de destaque a partir do segundo período, o que é um indicativo de que o patenteamento internacional cresceu a partir dos anos 1990. O depósito de patente é feito na WIPO quando há interesse no registro em mais de um país. A quantidade de patentes depositadas na WIPO dobrou no terceiro período e se manteve estável no quarto, indicando que a comercialização internacional das tecnologias MEOR passou a ser tratada mais efetivamente a partir dos anos 2000.

Alguns escritórios alternaram-se como polos principais em um determinado período sem aparecer nos demais: Europa, Alemanha, Japão e Brasil. De todo modo, o TVG chamou a atenção para escritórios que não surgiram como relevantes na rede completa, mas tiveram participação expressiva em determinado período, são eles: o escritório europeu, Grã-Bretanha, Alemanha, Japão, além do escritório do Brasil que apareceu em posição relevante entre 1991 e 2000.

Analisando separadamente, observou-se que a quantidade de titulares presentes na rede aumentou a cada um dos quatro períodos: 26, 31, 45 e 67, respectivamente, com um acréscimo expressivo no último período relativo aos anos de 2011 a 2020. Esse também é um indicativo da crescente atividade de inovação na área das tecnologias MEOR, envolvendo novos atores.

No primeiro período de 1981 a 1990, a rede foi composta por um total de 44 vértices; sendo 26 titulares no modo 1 e os 18 escritórios de registro de patente no modo 2. As arestas, que indicam em quais escritórios cada titular solicitou registro de patentes, totalizaram 122 conexões. O número de arestas é maior que o de titulares e indica que cada um solicitou registro de patentes em mais de quatro escritórios, em média. Os principais polos dessa rede são a empresa canadense Rhone-Poulenc Specialites Chimiques e a japonesa Bii Daburyu Enu Raibu Oiru Pty Ltd com 14 e 13 depósitos de patentes, respectivamente; e os escritórios dos Estados Unidos e Grã-Bretanha que receberam 16 e 10 solicitações de registro de patentes. O escritório da Grã-Bretanha não está entre os cinco mais procurados nos dois últimos períodos.

Observa-se que o Japão não figura entre os principais produtores mundiais de petróleo, segundo dados do BP Statistical Review of World Energy 2021 a sua produção foi inferior a 36.000 barris/dia, marca alcançada pelo menor produtor presente no *ranking*, a Tunísia. Contudo, mesmo

não sendo um importante produtor de petróleo, o Japão atua no desenvolvimento de tecnologias, o que pode ser justificado pela existência de empresas de serviços japonesas que tem atuação internacional destacada, inclusive, no Brasil a japonesa MODEC gerencia plataformas do pré-sal.

O segundo período, de 1991 a 2000, traz um total de 55 vértices; no modo 1, 31 titulares e no modo 2, 24 escritórios de registro de patentes. As arestas totalizaram 138 conexões, número 4,45 vezes maior que o de vértices, indicando que também no segundo período, cada titular tem registros de patentes solicitados em mais do que quatro escritórios em média. As principais empresas do período foram a australiana BWN Vortoil Servco, com 15 patentes depositadas e as demais empresas do grupo BWN, com 13 depósitos cada, repetindo um dos polos principais da rede completa. Os escritórios com maior número de pedidos de registro de patentes foram Canadá e Alemanha, com 19 e 10 pedidos respectivamente, apesar da Alemanha não ser produtora.

No terceiro período, de 2001 a 2010, a rede foi composta por 62 vértices no total, contudo o número de titulares aumentou, de 31 para 45, e o de escritórios reduziu, de 24 para 17, em comparação com o período anterior. Por sua vez, o total de arestas reduziu de 138 no período anterior para 114, indicando que nesse período foram solicitados registros para as patentes em um menor número de escritórios. O número de arestas foi 2,5 vezes maior que o de titulares, indicando que, em média, 2,5 dos titulares têm registros de patentes solicitados em mais de um escritório. A empresa norueguesa Statoil é o vértice principal dessa rede, seguida pelo inventor britânico Rees David Christopher. O escritório da China surge nesse período como principal, com 27 pedidos de registro, e dos Estados Unidos em segundo lugar, com 17.

No quarto período, de 2011 a 2020, cinco empresas ocuparam a posição principal entre os titulares, a primeira com 23, a terceira com 13 e as demais com 11 patentes depositadas, são elas: a americana New Aero Technology, a norueguesa Statoil, além da Gardner Rebecca da Grã-Bretanha, a norueguesa GOEip-Global Organic Energy e a americana Locus Oil Ip Company Llc. Entre os escritórios principais permanecem China e Estados Unidos com 27 e 17 depósitos.

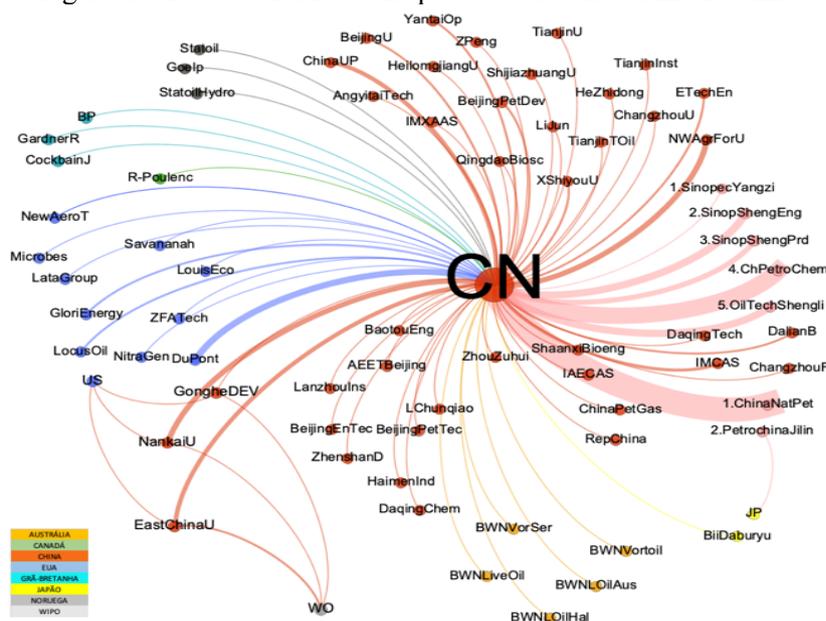
A quantidade de patentes depositadas pelas maiores companhias mundiais de energia vem crescendo ao longo das décadas e mais rapidamente nos anos 2000. Recentemente esse incremento se deu pela influência das empresas chinesas, que, sozinhas, depositaram mais patentes que a soma das demais nos últimos três anos. Isso evidencia o crescimento da importância da inovação para competitividade das empresas no mundo e a entrada das companhias chinesas no mercado global de petróleo e gás. (RAMOS-DE-SOUZA, 2014, p.7)

Para uma melhor compreensão do comportamento dos polos principais foram feitos recortes da Rede de 2-Modos Depósito de Patentes MEOR, destacando as conexões relativas aos escritórios

patentários da China, EUA, Canadá, WIPO e Brasil. Nessas redes estão representados: o escritório de registro de patentes do país sob análise, os titulares de patentes nacionais e os titulares de outros países que registraram patentes MEOR nesse escritório, além dos escritórios de outros países nos quais foram solicitados registros de patentes dos titulares nacionais. O primeiro recorte refere-se à China, cujo destaque no âmbito do patenteamento é notado não apenas em relação à MEOR:

Na Figura 15 estão representados: o escritório de registro de patentes da China, os titulares de patentes da China de outros países que registraram patentes MEOR nesse escritório e os escritórios de outros países onde foram solicitados registros de patentes de titulares chineses.

Figura 15. Rede de 2-Modos Depósito de Patentes MEOR China



Fonte: Elaboração própria

O resultado foi uma rede formada por 74 vértices, estando representados no modo 1, 70 titulares, na sua maioria chineses, e no modo 2, os 4 escritórios: China, Estados Unidos, Japão e WIPO. Os dois modos estão interligados por 77 arestas relativas aos depósitos de patentes feitos pelos titulares nos escritórios.

Do total de 70 titulares de patentes MEOR representados na rede, 45 são chineses, dos quais 44 solicitaram registros apenas no escritório da China. Esse comportamento segue a tendência apontada pela WIPO (2020), dos 3,2 milhões de pedidos de patentes apresentados em todo o mundo em 2019, os requerentes residentes apresentaram 2,2 milhões (69,2% do total) e os não residentes 1 milhão (30,8%).

Os principais titulares são a East China University of Science & Technology, a empresa Gonghe Charge Tianjin Petroleum Refinement Technology Development e a University of Nankai,

cada um com 3 pedidos de registro de patentes. A maior quantidade de depósitos nessa rede, 45, é proveniente de empresas, seguido por 17 de universidades/ICTs e 7 de inventores pessoas físicas e também está presente 1 ente governamental, a República da China.

De acordo com Ramos-de-Souza (2014), a Sinopec e a CNPC lideram com folga o *ranking* de patentes do setor do petróleo entre os maiores produtores no período recente, incluindo as empresas privadas. Isso indica o esforço de inovação e internacionalização das estatais chinesas na busca pelo aumento da oferta de energia que o país necessitará nos próximos anos para sustentar o crescimento acelerado de sua economia.

Três titulares chineses também buscaram registros nos escritórios dos Estados Unidos e da WIPO: East China University Of Science & Technology, Gonghe Charge Tianjin Petroleum Refinement Technology Development e University of Nankai. Apenas um titular solicitou registro exclusivamente em um escritório estrangeiro: a Petrochina Jilin Petrochemical, que buscou o escritório do Japão. O escritório da China recebeu solicitações de registro de patentes de tecnologia MEOR de 23 titulares oriundos dos seguintes países: Austrália, Canadá, Reino Unido, Japão, Noruega e Estados Unidos.

O movimento de crescimento explosivo da quantidade de patentes solicitadas pelas empresas chinesas não se restringe ao setor de petróleo. Em 2013, o Escritório de Patentes da China recebeu 825 mil pedidos, uma elevação de 26% em relação aos 652 mil pedidos solicitados em 2012. (Ramos-de-Souza, 2014). Segundo Liegsalza (2013), a China vem incrementando o seu desempenho na esfera da propriedade intelectual desde que introduziu um sistema de leis que atende aos requisitos internacionais conforme especificações do acordo sobre Aspectos dos Direitos de Propriedade Intelectual Relacionados ao Comércio (TRIPS). O Escritório Estatal de Propriedade Intelectual (SIPO) foi fundado em 1985 e é o responsável atribuir e fazer cumprir os direitos de patente. O número de pedidos e concessões de patentes aumentou de forma constante, apresentando um aumento acentuado depois que a China ingressou na OMC em 2001.

Ainda assim, por algum tempo houve ressalvas acerca da atuação da China nessa área. Liegsalza (2013) chegou a afirmar que:

De uma perspectiva política, há preocupações crescentes sobre as consequências do enorme crescimento nos pedidos de patente no SIPO sobre os atrasos de concessão do escritório (a duração entre o depósito de um pedido de patente e a decisão final de concessão). Os requerentes chineses obtiveram concessões de patentes mais rápidas do que seus homólogos de outros países asiáticos e não asiáticos. Embora esse efeito possa ser uma consequência das vantagens do idioma, também mostramos que os requerentes chineses obtiveram concessões de patentes desproporcionalmente mais rápidas em áreas

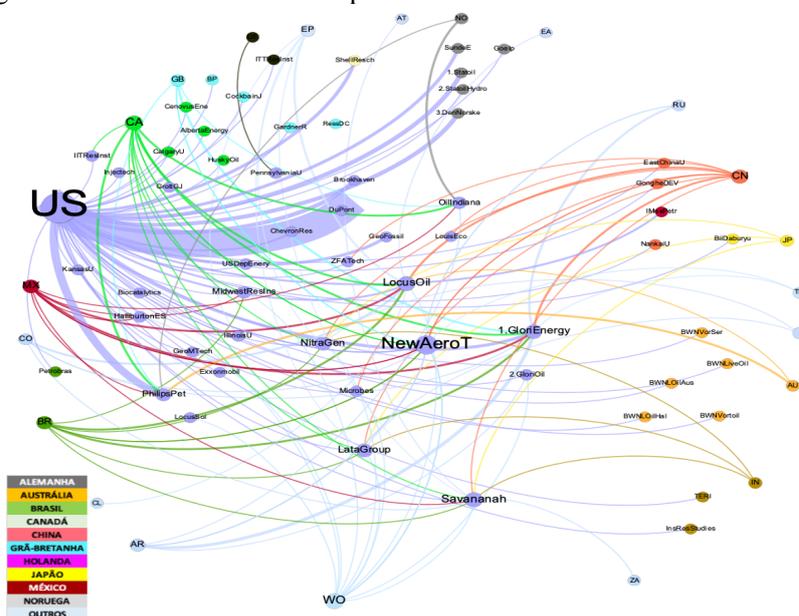
de alta relevância tecnológica para a RPC, levantando a questão do tratamento favorável para requerentes domésticos (Liesalza, 2013, p. 552-553-556, tradução própria).

Ramos-de-Souza (2014) indicou que as empresas chinesas eram as maiores depositárias de patentes nos últimos anos, mas não apareciam entre as empresas com as patentes mais citadas, o que podia indicar baixa relevância ou menor divulgação das patentes, visto que quase a totalidade das patentes da CNPC e Sinopec possuíam o primeiro depósito na China.

Entretanto, segundo dados mais recentes da WIPO (2020), a participação da China entre os cinco principais escritórios patentários aumentou consideravelmente nos últimos dez anos – de 17% em 2009 para 43,4% em 2019. A composição e a classificação dos 10 principais escritórios permaneceram relativamente estáveis desde 2009, à exceção da Austrália que em alguns anos esteve entre os 10 melhores escritórios, enquanto em outros perdeu seu lugar para o Brasil. Além disso, a China subiu da terceira posição em 2009 para a primeira em 2011 e continuou a liderar o *ranking* nos últimos nove anos, conforme comprovou o TVG da rede completa.

O segundo recorte da Rede de 2-Modos Depósito de Patentes MEOR, referente aos Estados Unidos, resultou na rede apresentada na Figura 16. Formada por 79 vértices, no modo 1 estão representados 57 titulares, na sua maioria americanos, e no modo 2, 22 escritórios. Essa rede é mais heterogênea que a chinesa, em termos quantidade de escritórios contemplados, o polo principal é o próprio escritório dos Estados Unidos com grau 54, número de registros de patentes a ele submetidos. Os dois modos estão interligados por 148 arestas relativas aos depósitos de patentes feitos pelos titulares nos diversos escritórios.

Figura 16. Rede de 2-Modos Depósito de Patentes MEOR Estados Unidos

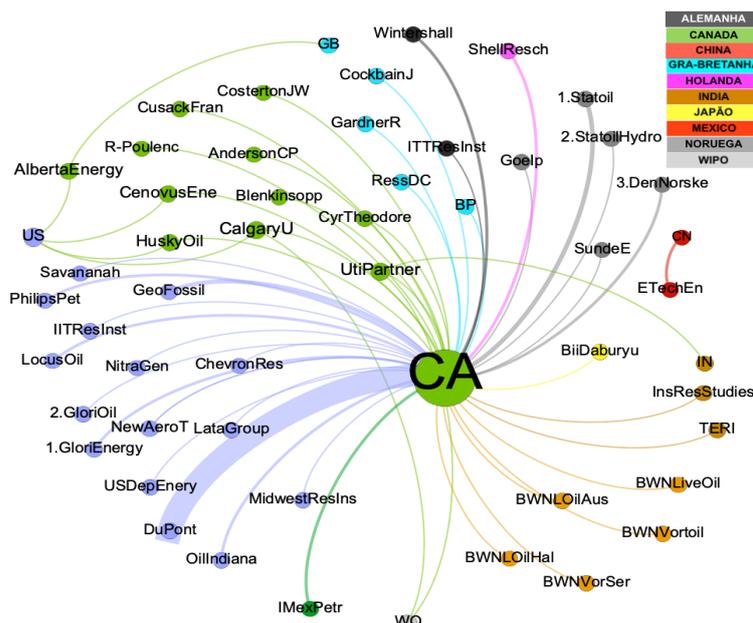


Fonte: Elaboração própria

Do total de 57 titulares que depositaram patentes no escritório dos Estados Unidos, 29 são americanos e os demais são oriundos de outros 11 países, indicando maior procura de titulares estrangeiros pelo escritório americano, diferente do ocorrido na China. Os titulares principais, com 23 e 13 pedidos de registo de patentes respectivamente, são as empresas americanas New Aero Technology e Savannah River Nuclear Solutions, com depósitos de patentes em diversos escritórios e várias famílias de patentes. A maior quantidade de depósitos, 39, é proveniente de empresas, seguido por 13 de universidades/ICTs e 4 de inventores pessoas físicas e também está presente 1 ente governamental, o US Department of Energy.

O escritório do Canadá é o terceiro polo e o recorte dessa rede específica está na Figura 17. Formada por 54 vértices, no modo 1 estão representados 48 titulares, sendo 15 americanos, formando a maioria e seguidos por 11 canadenses. No modo 2 estão 6 escritórios: Canadá, China, Grã-Bretanha, Inglaterra, Estados Unidos e WIPO. Os dois modos estão interligados por 56 arestas relativas aos depósitos de patentes feitos pelos titulares nos escritórios, resultando em menor número de conexões que as da rede dos EUA. O padrão do escritório dos Estados Unidos, relativo a alta procura por titulares de patentes de outros países, é repetido nessa rede.

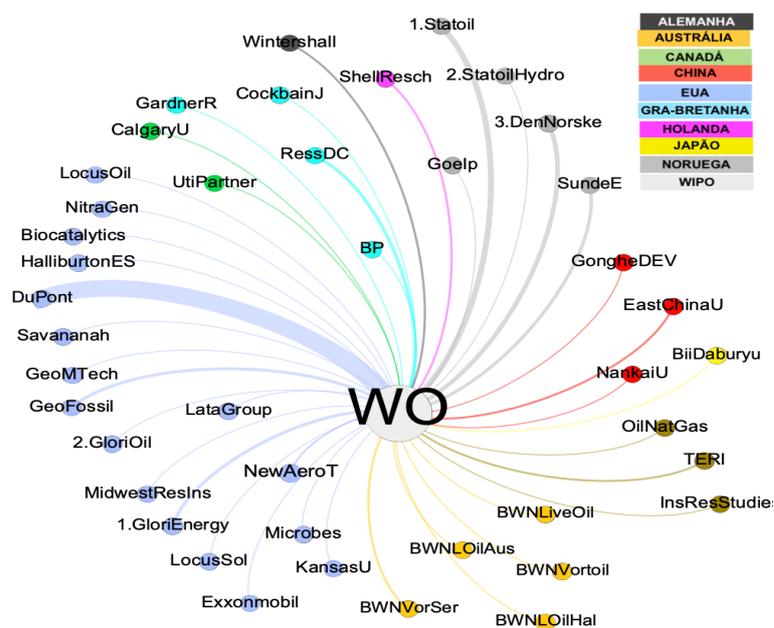
Figura 17. Rede de 2-Modos Depósito de Patentes MEOR Canadá



O polo é o escritório canadense com 47 conexões, todos os outros vértices seguem com quantidade de conexões entre 4 e 1. A maior quantidade de depósitos, 32, é proveniente de empresas, seguido por universidades/ICTs, 7, inventores pessoas físicas, 8, e, também está presente 1 ente governamental, o US Department of Energy.

O quarto polo, relativo ao escritório mundial da WIPO, resultou na rede apresentada na Figura 18, formada por 43 vértices. Analisar a rede desse escritório, é importante para ajudar a entender os atores que tem uma estratégia de comercialização internacional. No modo 1 estão representados os 42 titulares, oriundos de 10 países, sendo a sua maioria, 12, oriundos dos Estados Unidos, seguidos por 5 titulares noruegueses. A maior quantidade de depósitos, 34, é proveniente de empresas, seguido por 6 de universidades/ICTs e 3 de inventores pessoa física.

Figura 18. Rede de 2-Modos Depósito de Patentes MEOR WIPO

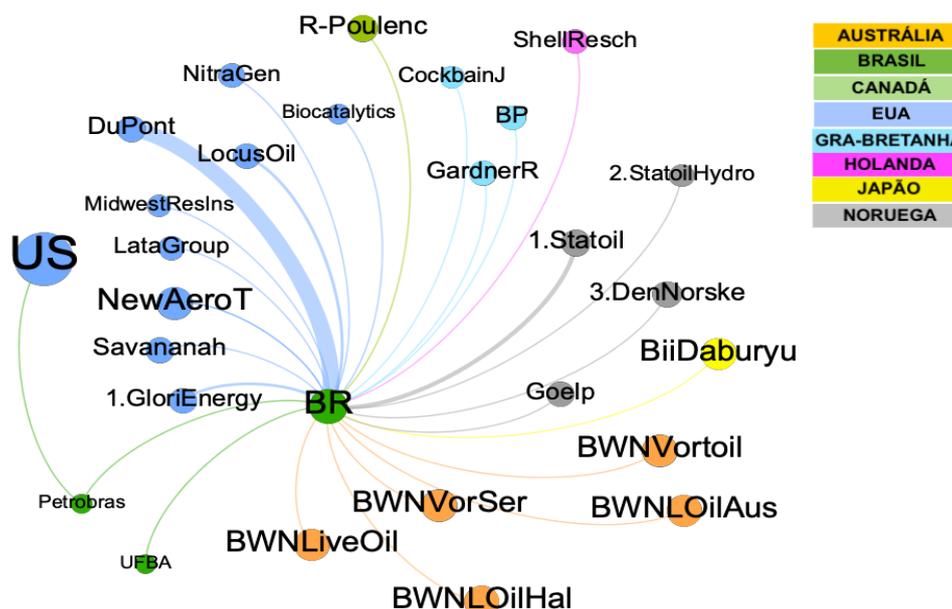


Fonte: Elaboração própria

Entre os titulares principais dessa rede estão grandes companhias petrolíferas internacionais: o grupo australiano BWN, a inglesa BP, a japonesa Bii Daburyu, a holandesa Shell, as empresas que compõem o atual grupo norueguês Equinor e as americanas Du Pont, Exxonmobil e Haliburton. Entre as universidades/ICTs estão: Calgary University, East China University of Science & Technology e TERI - Energy & Resources Institute.

A fim de conhecer a realidade brasileira foi destacada a rede correspondente ao Brasil, apresentada na Figura 19. É uma rede pequena, mas conta com titulares oriundos de diversos países que procuraram o escritório local para registro de patentes. Formada por 28 vértices, no modo 1 estão 26 titulares, sendo dois brasileiros: a Petrobrás e a UFBA, e no modo 2, os escritórios do Brasil e Estados Unidos. Os dois modos estão interligados por 28 arestas relativas aos depósitos de patentes.

Figura 19. Rede de 2-Modos Depósito de Patentes MEOR Brasil



Fonte: Elaboração própria

Os titulares dessa rede são oriundos de oito países, sendo oito americanos, cinco australianos, quatro noruegueses e outros, em menor número, oriundos do Canadá, Grã-Bretanha, Japão e Holanda. A maior quantidade de depósitos, 23, é proveniente de empresas, seguido por 2 de universidades/ICTs e 1 de inventor pessoa física.

Da análise desses recortes de redes relativos aos escritórios polos, sintetizada no Quadro 14, concluiu-se que a maior parte dos depósitos de patentes é submetida por empresas. Em segundo lugar seguem as universidades, nos escritórios da China, EUA e WIPO. No Canadá, os inventores submeteram mais depósitos que as universidades.

Quadro 14. Análise dos tipos de titulares nos recortes da Rede de 2-Modos Depósito de Patentes MEOR

Escritório	Empresas		Universidades/ICTs		Inventores		Governo		Total de patentes
China	45	64,29%	17	24,58%	7	10,00%	1	1,43%	70
EUA	39	68,42%	13	22,81%	4	7,02%	1	1,75%	57
Canadá	32	66,67%	7	14,59%	8	16,67%	1	2,08%	48
WIPO	34	79,07%	6	13,95%	3	6,98%	0	-	43
Brasil	23	88,46%	2	7,70%	1	3,85%	0	-	26

Fonte: Elaboração própria

Para complementar a análise relativa aos locais preferenciais de depósito das patentes MEOR, os escritórios identificados nessa rede foram cotejados com os países nos quais houve testes de aplicação da MEOR em campo, relatados em artigos científicos. Assim foi gerado o Quadro 15 que mostra a distribuição em 24 países, dos 70 testes de aplicação da tecnologia MEOR em campo encontrados em publicações.

Quadro 15. Comparativo da produção de petróleo em 2021 com os locais de realização teste de aplicação da MEOR em campo e com os escritórios que receberam solicitações de registro de patentes MEOR

País	Produção em mil barris/dia 2021 *	% da Produção Mundial	Ranking de Produtores de Petróleo 2021 *	Aplicações	Escritório de Registro de Patentes	Patentes
África do Sul	-	-	-	1	Organização Africana da Propriedade Intelectual	6
Alemanha	-	-	-	2	Alemanha	15
Arábia Saudita	11.039	12,5%	2	1	Arábia Saudita	-
Argentina	600	0,7%	25	3	Argentina	2
Austrália	470	0,5%	29	1	Austrália	20
Áustria	-	-	-	-	Áustria	12
Azerbaijão	716	0,8%	23	7	Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS)	7
Brasil	3.026	3,4%	9	2	Brasil	24
Bulgária	-	-	-	1	Bulgária	6
Canadá	5,135	5,8%	4	3	Canadá	45
Chile	-	-	-	-	Chile	1
China	3,901	4,4%	6	14	China	70
Colômbia	781	0,9%	20	-	Colômbia	4
Czechoslovakia	-	-	-	1	-	-
Dinamarca	72	0,1%	44	-	Dinamarca	13
Egito	616	0,7%	24	-	Egito	6
Espanha	-	-	-	-	Espanha	1
EUA	16.476	18,6%	1	12	EUA	52
Finlândia	-	-	-	-	Finlândia	7
França	-	-	-	-	França	1
Holanda	-	-	-	1	Holanda	1
Hungria	-	-	-	2	Hungria	6
Índia	771	0,9%	21	1	Índia	13
Indonésia	-	-	-	3	Indonésia	-
Japão	-	-	-	-	Japão	14
Malásia	596	0,7%	26	2	Malásia	2
México	1,910	2,2%	12	-	México	19
Noruega	2,001	2,3%	11	2	Noruega	16
Peru	131	0,1%	38	2	Peru	-
Polônia	-	-	-	2	Organização Europeia de Patentes (OPE/EPO)	22
Reino Unido	1,029	1,2%	18	1	Reino Unido	19
Romênia	72	0,1%	45	-	Romênia	6
Rússia	10.667	12,1%	3	3	Federação Russa	8
Tailândia	418	0,5%	30	-	Tailândia	1
Trindade Tobago	76	0,1%	43	1	-	-
Venezuela	540	0,6%	27	2	-	-
-	-	-	-	-	Organização Euroasiática de Patentes (EAPO)	11
-	-	-	-	-	Organização Mundial de Propriedade Intelectual OMPI (WIPO)	41
Total	-	-	-	70		471

* Os países sem colocação no ranking de produtores produziram menos do que 36.000 barris por dia, que foi a produção da Tunísia, última colocada no ranking apresentado no BP Statistical Review of World Energy 2021.

Fonte: Elaboração própria a partir do BP Statistical Review of World Energy 2021

Os testes de aplicação da MEOR em campo foram realizados em seis dos países que estão entre 10 maiores produtores mundiais de petróleo. Esses mesmos países também possuem números expressivos relativos a registros de patentes MEOR. As exceções que não aparecem na tabela são Iraque, Emirados Árabes, Iran e Kuwait, respectivamente 5º, 7º, 8º e 10º colocados no ranking dos produtores de petróleo. Não foi encontrado relato algum de teste ou aplicação em campo nesses países, nem de patente MEOR registrada em seus escritórios. Por outro lado, em diversos países que não possuem produção de petróleo expressiva no mercado mundial foram realizados testes em campo e registradas patentes.

Dos 24 países onde foram feitos testes, 15 possuem depósito de patentes MEOR em seus escritórios. Por outro lado, foram encontrados depósitos de patentes em 27 países, havendo publicações sobre testes de aplicações MEOR em campo em 18 desses. Também nota-se o total de 87 patentes depositadas nas várias organizações de propriedade intelectual: 41 na OMPI, 22 na europeia, 11 na euroasiática, 7 na União das Repúblicas Socialistas Soviéticas e 6 na organização africana.

A China voltou a se destacar com o maior número de testes em campo, 14, e de solicitações de registro de patentes, 70; seguida pelos Estados Unidos com 12 testes e 52 solicitações de registro e pelo Canadá com 3 testes e 45 solicitações de registro. Desse modo, foi possível inferir que há aderência entre os escritórios e os locais de aplicação da tecnologia MEOR.

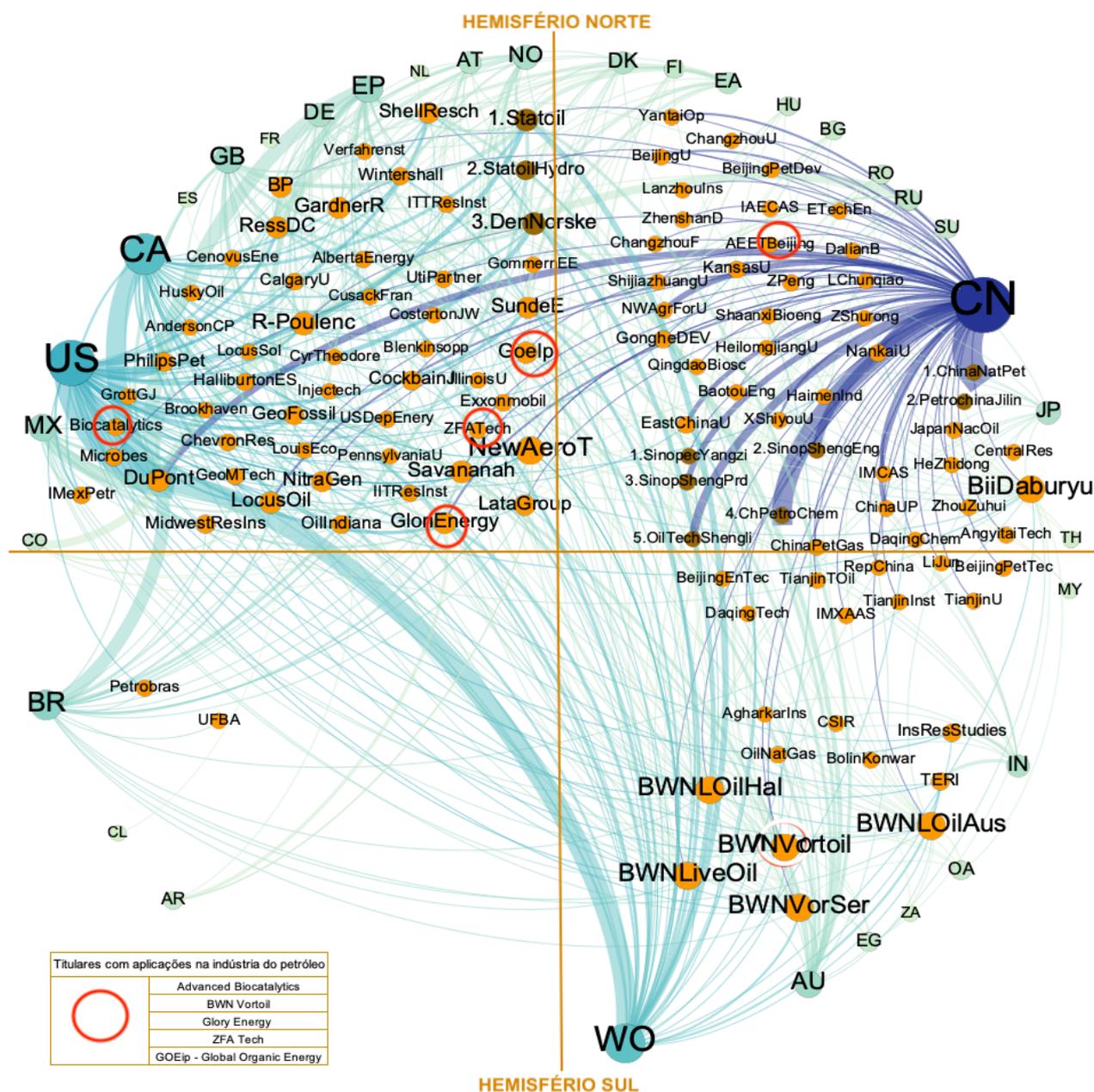
A comparação de dados chama a atenção para outro ator que não aparecia com destaque na rede: o Azerbaijão, 7º maior produtor mundial, registrou 7 testes em campo. O Azerbaijão era membro da União das Repúblicas Socialistas Soviética, mas não é possível afirmar que os 7 pedidos de registro de patentes recebidos pelo escritório da União das Repúblicas Socialistas Soviética decorreram da atuação desse país.

Ainda assim, é possível inferir que os titulares buscam depositar as patentes nos países onde a tecnologia tem potencial para ser aplicada. Enfim, os locais onde ocorrem os testes apresentam forte correlação com os locais onde as tecnologias são patenteadas.

Adicionalmente, foram realizadas pesquisas amplas na internet sobre a aplicação das tecnologias MEOR na indústria do petróleo. Com essas pesquisas foram localizadas cinco empresas que atuam com pesquisa, inovação, produção e comercialização dessas tecnologias: Advanced Biocatalytics Corporation, Advanced Energy & Environmental Technologies, Global Organic Energy (GOEip), Glory Energy e ZFA Tech. Neste conjunto estão

empresas de pesquisa e desenvolvimento, fornecedoras de serviços técnicos para exploração de petróleo e empresas de exploração de petróleo. Todas essas empresas são titulares que depositaram patentes e estão presente na Rede de 2-Modos Depósito de Patentes MEOR, a qual está rerepresentada na Figura 20 com esses titulares destacados por anéis vermelhos.

Figura 20. Titulares da Rede de 2-Modos Depósito de Patentes MEOR que possuem aplicações na indústria



Fonte: Elaboração própria

Essa rede segue os mesmos padrões de representação gráfica da Figura 12, incluindo apenas a sinalização dos titulares que comercializam e aplicam a tecnologia MEOR na indústria. As cinco empresas destacadas possuem famílias de patentes depositadas nos seus países de origem e

também nos EUA, cinco delas, à exceção da ZFA Tech, também submeteram pedido de registro de patentes ao escritório da WIPO.

Enfim, a análise da Rede de 2-Modos do Registro de Patentes MEOR resultou em informações que contemplam os seguintes objetivos específicos: definir os atores importantes no desenvolvimento e aplicação das tecnologias MEOR e analisar os efeitos das abordagens de sistemas de inovação e da hélice tríplice sobre a geração e a transferência das tecnologias MEOR. Assim, foram definidos os principais países para registro de patentes MEOR e reunidos elementos relativos à interação entre academia e empresa no âmbito da pesquisa e desenvolvimento das tecnologias MEOR.

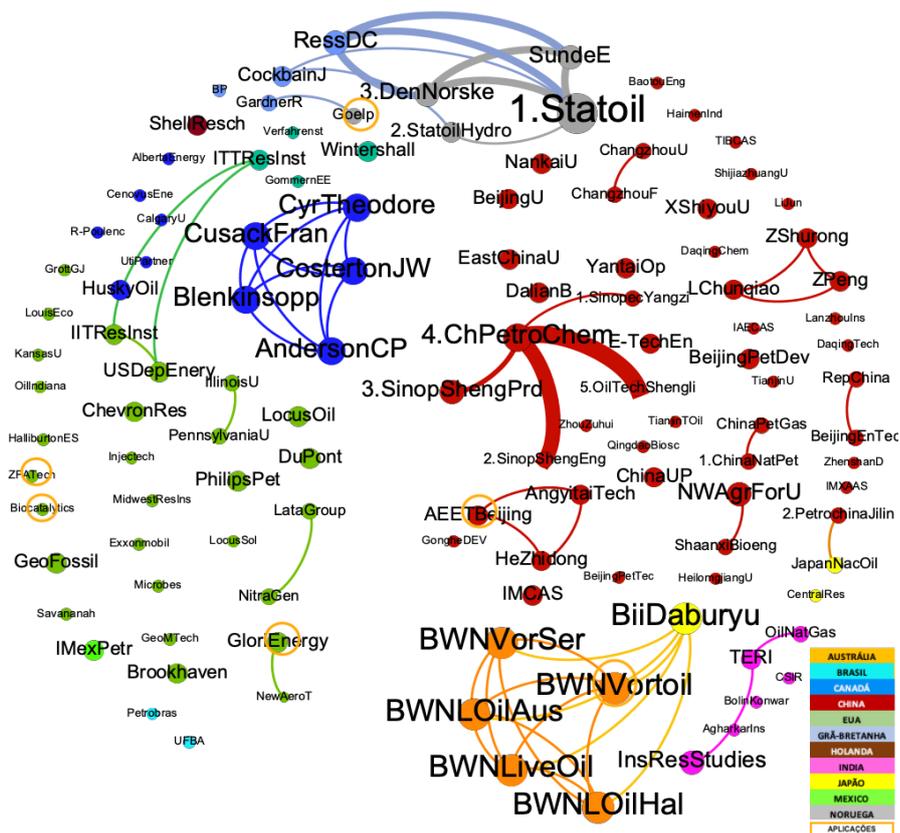
5.3 REDE 3: TITULARES DE PATENTES MEOR

Por meio da rede de titulares de patentes MEOR buscou-se mapear as instituições de pesquisa e desenvolvimento, universidades, empresas e órgãos de governo envolvidos no processo de geração de tecnologias MEOR. Um dos indicadores que mensura o esforço de inovação das empresas de energia no desenvolvimento de novos produtos e processos é a quantidade de patentes que são depositadas pelas companhias. (RAMOS-DE-SOUZA, 2014, p.2)

A Rede de Titulares de Patentes MEOR é uma rede social que representa as conexões existentes entre os titulares das patentes. Representada na Figura 21, ela é composta por 57 arestas que representam ligações entre 118 vértices que representam os titulares, configurando uma rede muito desconectada. A densidade de 0,008, extremamente baixa, confirma que esse é um grafo muito desconectado, pois inexistem parcerias entre os titulares no processo de patenteamento de tecnologias MEOR. As características dessa rede levam a inferir que elementos setoriais relativos à dinâmica competitiva do setor do petróleo não favorecem o compartilhamento de patentes MEOR.

O tamanho dos vértices é proporcional ao grau, ao número de patentes de cada titular. As arestas ligam os titulares que compartilham a mesma patente e sua espessura é proporcional ao peso, o número de ligações existentes entre eles, ou seja, a quantidade de patentes compartilhadas. Os seis titulares que atuam no mercado com aplicações da tecnologia MEOR na indústria do petróleo estão destacadas. Estas são empresas que atuam com pesquisa e inovação na área de petróleo, produção e comercialização de tecnologias MEOR: Advanced Biocatalytics Corporation, BWN Vortoil, Glory Energy e ZFA Tech.

Figura 21. Rede de Titulares de Patentes MEOR por país



Fonte: Elaboração Própria

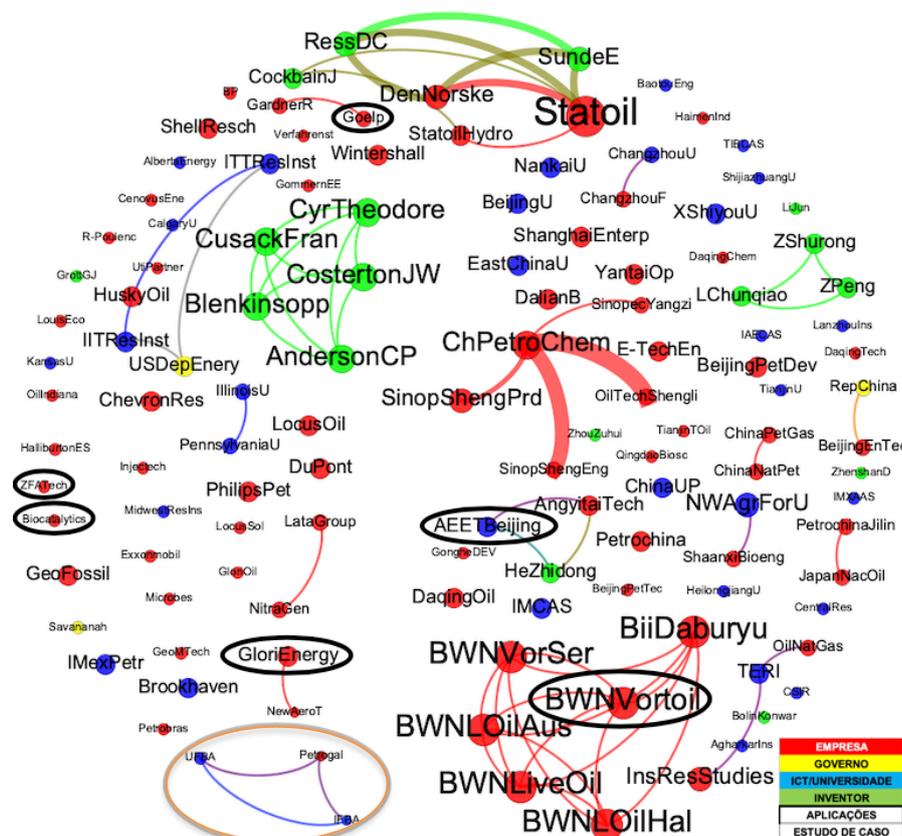
O país que tem maior número de titulares, 48, é a China, seguido pelos Estados Unidos com 28 e pelo Canadá com 11, acompanhando a tendência dos polos da Rede de 2-Modos Depósito de Patentes MEOR. China, Estados Unidos e Canadá são países com grande histórico na indústria do petróleo e representatividade na produção mundial. São chinesas as INOCs mais representativas: China National Petroleum Corporation, Sinopec e CNOOC. Entre as sete grandes empresas internacionais de petróleo, três são dos Estados Unidos: a Chevron, a ExxonMobil e a ConocoPhillips. Todas, tanto as chinesas quanto as americanas, são titulares de patentes MEOR, indicando algum interesse dessas empresas por essa tecnologia. No total, entre NOCs, INOCs, IOCs e independentes, pelo menos 34 fazem parte da Rede de Titulares de Patentes MEOR o que pode ser um indicador de interesse pela tecnologia.

Com o objetivo de comparar o comportamento dos titulares de patentes MEOR com as estruturas de Sistema de Inovação e Hélice Tríplice, os titulares foram categorizados como: ICT/Universidade, Empresa, Estado e Inventor, conforme representado na Figura 22. Entre as 118 instituições identificadas, 32 são universidades/ICTs, 69 empresas, 2 entes de Estado e 17 inventores. Estão destacados em preto os seis titulares que atuam no mercado com aplicações da

MEOR na indústria do petróleo. Foram incluídos e destacados em laranja, os titulares das patentes depositadas em 2022, fruto da parceria ICT-Empresa relativa ao projeto Petrogal-IFBA-UFBA.

Essa rede demonstrou a grande participação das empresas no processo de patenteamento de tecnologias MEOR. As arestas da rede foram analisadas buscando conhecer o relacionamento existente entre universidades/ICT e empresas. Foram identificadas oito ligações entre categorias de titulares diferentes.

Figura 22. Rede de Titulares de Patentes MEOR por categoria



Fonte: Elaboração Própria (2017).

A ligação mais diversificada ocorreu entre entes chineses, unindo ICT, empresa e inventor, os três como titulares conjuntos da mesma patente. As demais reuniram empresa e ICT/Universidade, ICT/Universidade e Governo, Empresa e Governo, Empresa e Inventor, conforme detalhado a seguir:

- ICT, empresa e inventor: AEE Geological Microbiology Technology Beijing, Angyitai Geological Microbial Technology e He Zhidong, todos da China.
- ICT/Universidade e empresa: 1. Changzhou University e Changzhou Woolen Tops Factory, ambos da China; 2. Changzhou Woolen Tops Factory e Shaanxi Botai

Bioengineering, ambos da China; 3. TERI - Energy & Resources Institute e Oil & Natural Gas Corporation Limited, ambos da Índia; 4. Petrogal, IFBA e UFBA.

- ICT e Governo: ITT Research Institute (Alemanha), IIT Research Institute (Estados Unidos) e US Department of Energy (Estados Unidos).
- Empresa e Governo: Beijing Jiebote Energy Technology e República Popular da China
- Empresas e Inventores: 1. Statoil Petroleum (Noruega), Den Norske Stats Oljeselskap (Noruega), David Christopher Rees (Grã-Breatha) e Egil Sunde (Noruega) e 2. Statoil Petroleum (Noruega), Statoil Hydro (Noruega) e Julian Cockbain (Grã Bretanha)

A partir da análise dessa rede, não é possível afirmar que há um comportamento compatível com o modelo da hélice tríplice, no qual as universidades assumem um papel de protagonistas no processo de inovação. As empresas aparecem com número muito maior de titularidade de patentes MEOR, indicando um comportamento que se aproxima mais de um sistema setorial de inovação, dada a participação de muitas empresas petrolíferas como titulares de patentes, incluindo algumas das maiores e mais influentes do mundo, em termos de capital, participação no mercado e quantidade de petróleo produzido.

Considerando que China e Estados Unidos são os atores com maior centralidade de grau nas Redes Registro de Patentes e na Rede de Titulares, é possível inferir que o fato do governo desses países participarem de algum no processo de inovação alavanca o número de patentes MEOR produzidas nesses países.

No Quadro 16, seguem os índices que foram considerados os mais adequados para a análise:

Quadro 16. Estatísticas da Rede de Titulares de Patentes MEOR

Medidas	Rede Completa	Interpretação
Vértices	118	Titulares
Arestas	57	Patentes que os titulares compartilham
Grau Médio	0,951	Número médio das relações de titularidade
Densidade	0,008	Nível da conectividade entre os titulares
Diâmetro	2	Por quantos titulares um titular deve passar para alcançar o mais distante
Caminho mínimo médio	1,183	Nível de proximidade entre os titulares
Modularidade	0,838	Nível de conexão entre titulares, indica os que mais se conectam
Comunidades	87	Grupo de titulares que compartilham as mesmas patentes
Componentes conectados	87	Grupos de titulares conectados que não se conectam com outros

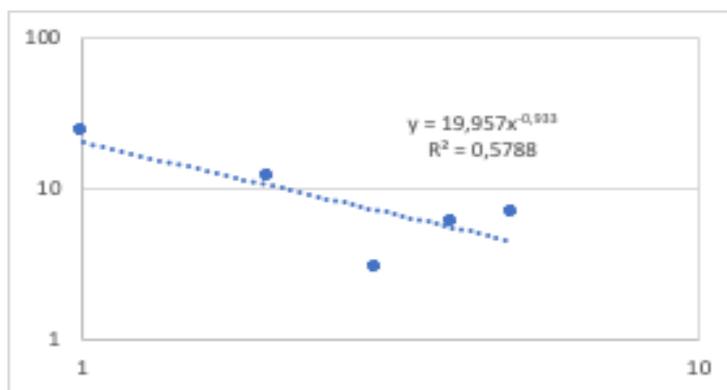
Fonte: Elaboração Própria (2021).

A análise topológica para rede de mundo pequeno foi feita com base nas medidas do coeficiente de aglomeração médio (Cws) e do caminho mínimo médio (L) da rede. O valor de Cws

de 0,907 é elevado em relação ao Cws de 0,050 da rede aleatória gerada para fins dessa análise topológica. O L igual a 1,183 é considerado similar ao da rede aleatória no valor de 2,270. A partir desses valores, é possível inferir que essa rede apresenta um comportamento de mundo pequeno, com pequena distância entre os vértices, indicando uma proximidade entre os titulares.

Quanto à distribuição de graus, a rede não apresenta uma Lei de Potencia. Na Figura 23, a correspondência de 57% entre os dados dessa rede e a linha de tendência do gráfico não sugere uma Lei de Potência, distanciando essa rede da topologia livre de escala.

Figura 23. Distribuição de Graus da Rede de Titulares

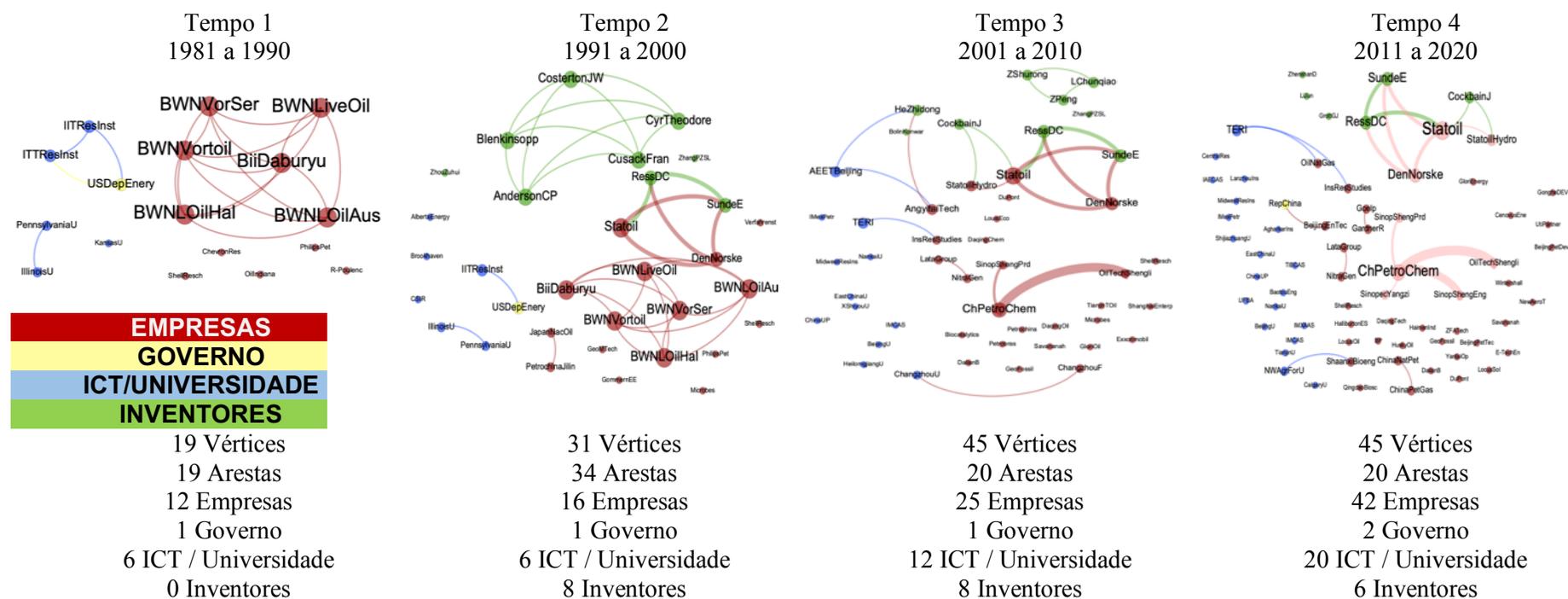


Fonte: Elaboração Própria a partir do software Gephi

Adicionalmente, o grau médio 0,996 descarta a existência de polos, uma vez que, em média, os vértices não chegam a ter nem uma conexão, como pode ser comprovado na representação gráfica da rede. De fato, na rede de titulares de tecnologia MEOR, poucos titulares compartilham patentes. A maioria dos vértices dessa rede é desconectada, indicando que a maioria dos titulares deposita as patentes isoladamente.

Com a aplicação da modularidade, foram formadas 84 comunidades, 16 das quais são formadas por 2 ou mais titulares, sendo 1 com 6 titulares, 3 com 5 e as demais com 3 ou 2 titulares. Todas as outras 68 são titulares isolados sem nenhuma conexão com outro titular. A existência de 84 componentes, mesmo número de comunidades, confirma que nenhuma comunidade faz conexão com outra. Enfim, a rede de titulares de patentes MEOR é extremamente desconectada ou fragmentada. Diante desse resultado, optou-se por não isolar o componente gigante dessa rede, mas por aplicar o algoritmo da modularidade para separar as comunidades existentes. O resultado está mostrado na Figura 24 que representa as comunidades da rede com destaque de cores por comunidades e por categoria de titular.

Figura 25. TVG Rede de Titulares de Patentes MEOR



Fonte: Elaboração própria

No primeiro período, o grau médio foi 2,235 e haviam 20 titulares com 19 conexões, sendo 12 empresas, 6 ICT/Universidades, 1 ente governamental e 1 inventor. Os titulares que depositaram mais patentes em conjunto foram a BiiDaburyu e as empresas do grupo BWN que apresentaram grau 5 por terem depositado cinco patentes em conjunto. Os institutos de pesquisa IITR, ITT e o Departamento de Energia dos Estados Unidos tiveram grau 2 e também depositaram patentes em conjunto.

No segundo período, o grau médio aumentou um pouco para 2,357, com 28 titulares e 34 conexões, sendo 13 empresas, 6 ICT/Universidades, 1 ente governamental e 8 inventores. A BiiDaburyu e as empresas do grupo BWN continuaram a ser os titulares que depositaram patentes em conjunto com grau 5. Mas nesse período entraram como elemento novo, os inventores canadenses Carol Anderson, Sandra Blenkinsopp, John Costerton, Francene Cusack e Theodore Cyr que depositaram 4 patentes em conjunto. Os institutos de pesquisa IITR, ITT e o Departamento de Energia dos Estados Unidos mantiveram sua posição com grau 2.

No terceiro período, o grau médio reduziu bastante, para 0,889, com 45 titulares e 20 conexões, sendo 13 empresas, 6 ICT/Universidades, 1 ente governamental e 8 inventores. A Statoil e a Den Norske, com graus 5 e 3, foram as empresas que mais depositaram patentes em conjunto com outras. Os inventores Rees Christopher e Egil Sunde, além da ICT AEET Beijing, também apresentaram grau 3. Não há um ente governamental presente nesse período. No quarto período, a Statoil permanece como titular com mais conexões, com grau 5, e, a Petroleum and Chemical Corporation aparece com 4 conexões. Os inventores permanecem na mesma posição do período anterior e a ICT indiana TERI - Energy & Resources Institute surge com 2 conexões. Nesse período, surge também o ente governamental República da China com 2 conexões.

Recentemente, o número de titulares aumentou para 69, 20 conexões entre eles, resultando no grau médio menor ainda, 0,58. Com esses dados, é possível inferir que apesar da entrada de novos atores, as instituições e inventores que são proprietários de patentes não se conectam. Uma explicação poderia ser a necessidade de manter o sigilo sobre as inovações MEOR antes do depósito das patentes, mas como nessa pesquisa foram investigadas as famílias das patentes, se houvesse associação de novos proprietários para as patentes depositadas, esses apareceriam conectados na Rede de Titulares de Patente MEOR. Enfim, apesar do número de titulares ter aumentado a cada período, o grau médio diminuiu, indicando a tendência de haver cada vez menos patentes conjuntas entre os titulares.

Existem empresas que desenvolvem e comercializam tecnologias MEOR. Para investigar a existência de estratégias que possam ter levado as inovações MEOR à efetiva aplicação na

indústria foram analisados os dados disponibilizados pelas próprias empresas nas suas páginas da internet, algumas delas relataram que parcerias ICT- Empresas fizeram parte do seu processo de inovação e todas relataram algum nível de interação com ICTs e/ou governo. Nem todos os relacionamentos existentes podem ser identificados nas patentes, como será detalhado na análise da Rede de Titulares de Patentes MEOR. Para contribuir com o entendimento da dinâmica da trajetória MEOR, segue a Quadro 17 e informações sobre essas empresas.

Quadro 17. Empresas que desenvolvem e comercializam tecnologias MEOR

Empresa	País	Tecnologia MEOR	Estratégia Declarada
Advanced BioCatalytics	EUA	mescla tensoativos com a tecnologia de biofluidos	pesquisa científica
Advanced Energy & Environmental Technologies	China	tecnologia geo-microbiana	pesquisa, parcerias e qualificação da equipe
Glori Energy	EUA	estimulação de microrganismos indígenas	joint venture e pesquisa e desenvolvimento
ZFA Tech	EUA	Biossurfactantes	pesquisa e desenvolvimento
BWNVortoil	Austrália	transporte de petróleo	cooperação universidade-empresa
GOEip	Noruega	desvio de água em campos	pesquisa

Fonte: Elaboração Própria

A empresa Advanced BioCatalytics, fundada em 1996 na Califórnia, possui uma família de patentes MEOR depositadas nos escritórios dos EUA, Brasil e WIPO em 2008. No seu *site*, a empresa indica que desenvolve tecnologias e produtos na área de biotecnologia industrial e declara ter atenção ao perfil ambiental dos seus produtos e operações. Sua tecnologia central resultou da pesquisa científica financiada nos primeiros anos da empresa, na qual foram descobertas proteínas que afetam o metabolismo central das bactérias aeróbicas. Essa pesquisa também levou ao desenvolvimento de uma tecnologia para sinergia de surfactante que permitem gerar produtos para limpeza, tratamento de águas residuais, remediação ambiental, entre outras aplicações. A empresa relata ter prosseguido atuando com pesquisa e desenvolvimento e lançado um surfactante à base de ramnolipídios em 2021. Já na área de recuperação de petróleo, possui oferta de produtos para EOR que aumentam a produtividade com biotecnologia *ecofriendly*. Esses produtos mesclam tensoativos com a tecnologia de biofluidos da empresa, atingindo uma tensão interfacial ultrabaixa. Podem ser personalizados para formações de carbonato, alta temperatura, alta salinidade e óleo pesado.

A segunda empresa, a Advanced Energy & Environmental Technologies, Inc.(AE&E), sediada em Pequim, possui 1 família de patentes depositadas nos escritórios da China, EUA e WIPO em 2017. Relata ser especializada em tecnologia geo-microbiana de superfície para exploração de petróleo e gás e fornece serviços técnicos para proteção ambiental, exploração e produção de petróleo. A AE&E afirma ter lançado cerca de 100 projetos de pesquisa *on e*

offshore com reconhecimento da indústria, possuindo várias tecnologias patenteadas. Atuou em parcerias com a CNOOC e estabeleceu parcerias estratégicas de longo prazo com as principais organizações de pesquisa em geo-microbiologia do mundo.

Como um diferencial, a AE&E ressalta a qualificação da sua equipe composta por mais de 60% de mestres e doutores, dirigentes especialistas em petróleo e microbiologistas, gerentes formados em escolas de negócios dos EUA, acadêmicos das Academias Chinesas de Ciências e de Engenharia que atuam como consultores seniores e um ex-chefe de geocientistas de uma COI mundial. Também relata possuir equipes técnicas e de P&D especializadas em geologia, geofísica, geoquímica, entre outras, além de ex-engenheiros e geólogos chefes dos departamento de governo de geociências e energia e de grandes empresas petrolíferas nacionais.

A terceira é a Glori Energy, uma empresa de energia e produção de petróleo sediada no Texas que informa que sua missão consiste em recuperar de forma limpa e segura o petróleo retido em reservatórios existentes, sem precisar perfurar um poço novo. Possui 3 famílias de patentes depositadas em 10 escritórios, incluindo os dos EUA, Brasil, China e WIPO. Opera campos de petróleo *onshore* nos EUA e fornece e implanta globalmente em empresas o Sistema AERO™ (Ambiente Ativado para Recuperação de Petróleo), uma tecnologia de estimulação do crescimento de microrganismos indígenas por meio da injeção de uma mistura personalizada de nutrientes nos reservatórios inundados com água para aumentar a recuperação do óleo residual entre 30% e 45%, de forma sustentável.

Indicando a motivação de acelerar a comercialização da sua tecnologia, a Glori informa que atua em conjunto com a Energy Technology Ventures, uma *joint venture* focada no desenvolvimento de tecnologias de energia de próxima geração. Além de investir, ela oferece oportunidades de colaboração comercial para empresas de tecnologia e energia em estágio de risco e crescimento, principalmente na América do Norte, Europa e Israel.

Reúne a GE, a NRG Energy e a ConocoPhillips. A GE Energy Financial Services possui US\$3,5 bilhões em ativos de petróleo e gás desde 1991, complementando o portfólio da GE Oil & Gas em equipamentos e serviços de tecnologia avançada. A ConocoPhillips, quarta maior refinaria do mundo e sétima maior detentora de reservas de empresas não governamentais, é conhecida por sua expertise em gestão e exploração de reservatórios. A NRG Energy explora o uso de emissões de dióxido de carbono capturadas em usinas de carvão e na recuperação aprimorada de petróleo, entre outras iniciativas de tecnologia avançada.

A quarta empresa é a ZFA Tech sediada no Texas e com base de produção na China, possui uma família de patentes depositada nos EUA e na China em 2015. Desenvolve biossurfactantes e possui o produto MEOR Biosurfactante Enzyme for Recovery of Oil (BERO™) que utiliza bioengenharia para otimizar o desempenho e liberar petróleo e gás associado da superfície de rochas microporosas. Esse produto também é usado como aditivo em fraturamento hidráulico e em operações de refração. Segundo a empresa há mais de 15 anos tem sido implantado em campos de petróleo nos Estados Unidos, Oriente Médio, Norte da África, América Latina, Sudeste Asiático, Europa e China, principalmente em poços de petróleo oriundos do programa EOR. A ZFA afirma que esses biossurfactantes superam os tradicionais no aumento da produção em ativos existentes com taxas de dosagem e custos mais baixos, também melhoram significativamente a taxa de recuperação de campos petrolíferos temperados com a melhor relação custo-benefício. O aumento da produção esperado na cabeça do poço tem duração de 12 a 18 meses.

A empresa indicou ter oito anos de pesquisa e experimentos, incluindo o desenvolvimento industrial e testes realizados em 11 campos petrolíferos da China e em cerca de 200 poços de baixa produção no Texas e no Wyoming. A taxa de sucesso relatada foi de 90%, com recuperação média de 1000bbs por poço, índice médio de recuperação de 120%, e ciclo de vida efetivo de recuperação superior a 12 meses. Um dos melhores casos mostrou o poço *onshore* # 34166 do campo petrolífero de Karamay com uma produção de petróleo aumentada em 540%, recuperando 14,178 bbls em 12 meses.

Apesar de não possui relato de aplicação de tecnologias MEOR na indústria, a quinta empresa, a australiana BWNVortoil, participou de uma colaboração universidade-empresa bem sucedida. O objetivo foi solucionar problemas relativos ao transporte de petróleo bruto no oleoduto Moonie. Sob certas condições de operação, o petróleo poderia solidificar e o Prof. David Boger, de Engenharia Química da Universidade de Melbourne, trabalhando com os operadores da tubulação definiu um método capaz de modificar as condições de fluxo com um depressor do ponto de fluidez. Isso permitiu que a Imperial Chemical Industry of Australia and New Zealand (ICI Australia Ltd) selecionasse em seu Laboratório de Pesquisa vários depressores de ponto de fluidez para chegar ao produto que passou a ser utilizado no *pipeline*. A BWNVortoil possui uma família de patentes MEOR depositada nos escritórios da Austrália, EUA, Brasil, China e WIPO, relativa a um método para isolar, cultivar, estimular e reinjetar microrganismos indígenas nos reservatórios.

A sexta empresa, a GOEip sediada em Stavanger na Noruega, foi fundada em 2010 para desenvolver iniciativas para aumentar a produção de petróleo de campos maduros usando tecnologias mais ecológicas. Essa empresa também foi originada a partir de pesquisas: entre 1999 e 2003 foram desenvolvidos modelos matemáticos que resultaram em três tecnologias que foram testadas em uma instalação na Suécia, entre 2006 e 2008, por uma equipe de microbiologistas, físicos e químicos. Os resultados foram positivos e um programa de pesquisa foi iniciado na Universidade de Bergen, visando qualificar as três tecnologias para teste de campo. A empresa tornou-se uma holding de pesquisa e desenvolvimento e entre seus parceiros e colaboradores estão a Total e a Conoco Phillips. No seu quadro conta com um diretor que atuou como gerente na Statoil. A empresa GOE-Chalk foi estabelecida para operar comercialmente e realizar o gerenciamento de reservatórios.

A GOEip reconhece que a produção de petróleo e gás é um dos principais contribuintes mundiais para o acúmulo de CO₂ na atmosfera, levando a temperaturas globais elevadas. Também aborda o problema da água produzida com a demanda por tratamento e seus custos. Para tanto, dispõe de tecnologias de desvio de água para campos maduros que demandam pequenos ajustes nas sondas offshore e pequenos volumes injetados nos reservatórios. As fraturas dominantes de água em reservatórios maduros são bloqueadas e, assim, a água produzida é reduzida e a recuperação de petróleo incrementada. A empresa estima um aumento no fator de recuperação de óleo de até 12%.

Entre os principais achados oriundos desse tópico está a comprovação do forte papel da pesquisa na descoberta de tecnologias efetivas de recuperação de petróleo com grande potencial de mercado, e de tecnologias que resultam em ganhos ambientais, como as que originaram as empresas Advanced BioCatalytics e GOEip e as que viabilizaram e que são foco da AE&E.

Uma premissa comum a quase todas as empresas analisadas é a de que a produção de petróleo é um dos principais contribuintes mundiais para o acúmulo de CO₂ na atmosfera. A comprovação da eficiência do uso de tecnologias novas para recuperação do óleo residual e sua importância do ponto de vista ambiental foi ressaltada pela Glori Energy e pela GOEip, ambas com um grande foco de atenção nos problemas causados pela injeção de água nos reservatórios.

Observa-se também a importância do modelo da hélice tríplice na geração de inovações na indústria do petróleo, principalmente no que tange à parceria entre universidades/ICTs e empresas, como as que ocorreram na maioria dos casos relatados. Também foram feitas referências às parcerias das empresas com o governo e com ICTs, como no caso da AE&E que tem parceria com a CNOOC, uma das maiores petrolíferas da China, com o governo e ICTs. A

GOIip surgiu a partir de uma pesquisa realizada em conjunto com a universidade de Bergen que teve resultados positivos em testes de campo e além da universidade, mantém parceria com grandes empresas (ConocoPhillips, Total) e ICTs.

A Glori Energy atua com uma joint venture que reúne 3 das empresas líderes no mercado do petróleo. O GOE-IP tornou-se uma holding de Pesquisa e Desenvolvimento e as empresas GOE-Chalk e GEO-Chalk foram estabelecidas para cuidar dos reservatórios e dos contratos comerciais, respectivamente.

Adicionalmente, várias empresas, entre elas a GOEip e a AE&E, colocaram como elemento importante a qualificação acadêmica dos seus quadros e a experiência dos seus principais dirigentes em empresas de petróleo de grande porte.

A efetividade da tecnologia MEOR no aumento das taxas de recuperação de petróleo também ficou aqui comprovada pela existência de empresas que negociam exclusivamente com tecnologias MEOR e permanecem há algum tempo no mercado, tendo inclusive parcerias com grandes empresas petrolíferas. A Glori Energy deixou claro que o seu produto é um método MEOR *in situ* de estimulação dos microrganismos nativos e ressaltou o aspecto sustentável e o baixo custo da tecnologia. Já a GOEip usa como matéria prima alternativa na MEOR, nutrientes derivados da madeira. Os ganhos econômicos possibilitados com a reativação de poços já considerados inativos foram abordado pela Glori Energy. As soluções MEOR comercializadas pela GOEip e pela Glori oferecem aumento da quantidade de petróleo produzido entre 12% e 45%, a ZFA Tech faz referência de 120% com seu produto. A Glory também ressaltou o baixo custo da tecnologia MEOR que utiliza.

Os exemplos dessas empresas ratificam diversos pontos abordados na revisão da literatura com relação aos ganhos ambientais e de produtividade promovidos pelas tecnologias MEOR, assim como a relevância das parcerias e especificamente do modelo da hélice tríplice para a geração de inovações no setor do petróleo. Conseqüentemente, conclui-se que a formação de empresas de base tecnológica a partir das tecnologias desenvolvidas com pesquisas é um passo importante, desde que precedido de testes de campo bem sucedidos.

Um elemento novo que surgiu com a análise dessas cinco empresas que comercializam ou utilizam tecnologias MEOR na produção em campo foi o fato de algumas delas possuírem em seus quadros dirigentes que haviam ocupado anteriormente cargos importantes em grandes empresas petrolíferas. Os consultores sêniores da chinesa AE&E incluem ex-engenheiros-chefes e geólogos-chefes de grandes empresas petrolíferas nacionais, bem como um ex-chefe

de geocientistas de uma importante COI mundial. A Glori Energy atua com uma joint venture que envolve grandes empresas de energia: a GE, a NRG Energy e a ConocoPhillips, ela investe e oferece oportunidades de colaboração comercial para empresas de tecnologia de energia em estágio de risco e crescimento.

Além dessas empresas, também foi localizada a Titan Oil Recovery, Inc, companhia americana com EOR que passou a atuar com injeção de nutrientes nos reservatórios para facilitar o escoamento do petróleo, a partir de um processo de cinco etapas que considera simples, eficiente, barato e 100% ecológico: triagem inicial de campo; amostragem da água de produção; aplicação de campo para 2-4 poços de produção, para testar a resposta microbiana; aplicação no poço de injeção piloto e implementação em campo completo. A Titan relatou a realização exitosa de pilotos com a CNOOC e a Bahrain National Oil Company e considera que entre os principais *players* que operam no mercado global de recuperação de petróleo aprimorada por micróbios estão: National Energy Services Reunited Corp., Micro-Bac International Inc., RAM Biochemical, Inc., Titan Oil Recovery, Inc., Chemiphase Ltd., ConocoPhillips Company e Microbial Energy Inc.

Ao apresentar os titulares principais no processo de inovação MEOR, identificar os tipos de instituições mais importantes e localizar os países onde existem titulares de patentes MEOR, essa rede contribuiu com os seguintes objetivos específicos: definir os atores importantes no desenvolvimento e aplicação das tecnologias MEOR, esclarecer a relação entre as patentes MEOR e os países produtores e receptores dessas tecnologias e analisar os efeitos das abordagens de sistemas de inovação e da hélice tríplice sobre a geração e a transferência das tecnologias MEOR. A análise dos casos de empresas cujo foco de atuação é a tecnologia MEOR contemplou elementos relativos à interação entre academia e empresa no âmbito da pesquisa, desenvolvimento e comercialização das tecnologias MEOR. Assim, foi possível aumentar a compreensão sobre a dinâmica do ciclo de inovação em tecnologias MEOR.

5.4 REDE 4: REDE DE COINVENÇÃO DE TECNOLOGIAS MEOR

A pesquisa e a invenção são etapas iniciais do ciclo de inovação MEOR, são os inventores que geram conhecimento nas fases iniciais do processo de inovação. Parte significativa das tecnologias disseminadas na indústria do petróleo são patenteadas antes de serem introduzidas no ambiente produtivo. Com a Rede de Coinvenção busca-se fazer o mapeamento dos inventores para compreender como se dão os relacionamentos para a geração de inovação em

O tamanho dos vértices é proporcional ao número de patentes de autoria do inventor, enquanto a espessura das arestas indica o peso, a quantidade de pesquisa realizada em conjunto entre esses inventores. Destacado em vermelho, está o componente gigante da rede, um conjunto de vértices completamente conectados entre si. Nele são encontrados 25,47% dos vértices interligados por 44,54% das arestas da rede completa, indicando uma maior coesão entre os inventores desse conjunto do que na rede completa.

No Quadro 18, seguem os índices que foram calculados para a análise quantitativa.

Quadro 18. Estatísticas da Rede de Coinvenção de Tecnologias MEOR

Medidas	Rede Completa	Componente Gigante	Interpretação
Vértices	483	123	Inventores
Arestas	1686	751	Conexões entre as palavras que aparecem em uma mesma patente
Grau Médio	6,981	12,211	Número médio de conexões entre os inventores
Densidade	0,014	0,100	Conexões existentes entre os inventores, indica o nível da conectividade entre os inventores
Diâmetro	7	7	Por quantos inventores um inventor deve passar para alcançar o mais distante
Caminho mínimo médio	2,799	3,05	Indica o nível de proximidade entre os inventores
Coefficiente de Aglomeração Médio	0,920	0,864	Indicação da aglomeração da rede
Triângulos	4.818	2.965	Conjuntos de três inventores
Modularidade	0,837	0,504	Conexão entre inventores, indica os que mais se conectam na rede
Comunidades	87	7	Grupo de inventores que trabalham juntos

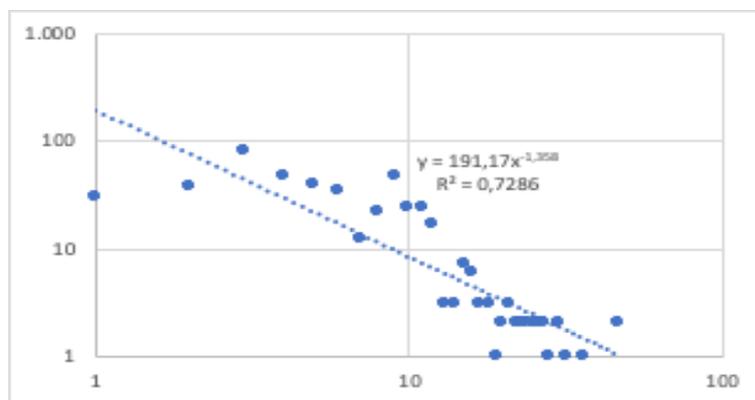
Fonte: Elaboração Própria (2019).

Analisando inicialmente a rede completa, o grau médio da Rede de Coinvenção de Tecnologias MEOR é 6,981, indicando uma média de 7 conexões entre os inventores que colaboram entre si nas pesquisas em tecnologia MEOR. A densidade mostra que a rede está muito desconectada, possui apenas 1,4% das conexões possíveis, o que representa baixa conectividade entre os inventores, sendo uma rede esparsa. O diâmetro 7 indica uma medida alta de separação entre os dois inventores mais distantes, ou seja, o caminho mais curto que um inventor mais distante pode fazer para se conectar com o outro passa por 7 outros. Por outro lado, o caminho mínimo médio de 2,799 indica proximidade média entre os inventores, mas não muita agilidade entre os contatos.

A análise topológica para rede de mundo pequeno foi feita com base nas medidas do coeficiente de aglomeração médio (Cws) e do caminho mínimo médio (L) do componente gigante da rede. O valor de Cws de 0,920 é elevado em relação ao Cws de 0,102 da rede aleatória gerada para fins dessa análise topológica. O L igual a 2,799 é considerado similar ao da rede aleatória no valor 2,230. A partir desses valores, é possível inferir que essa é uma rede

mundo pequeno com pequena distância entre os vértices, indicando uma proximidade entre os inventores. Também foi feita a análise para a topologia livre de escala a partir da distribuição de graus apresentada na Figura 27.

Figura 27. Distribuição de Graus da Rede de Coinvenção de tecnologias MEOR



Fonte: Elaboração Própria a partir do software Gephi (2019).

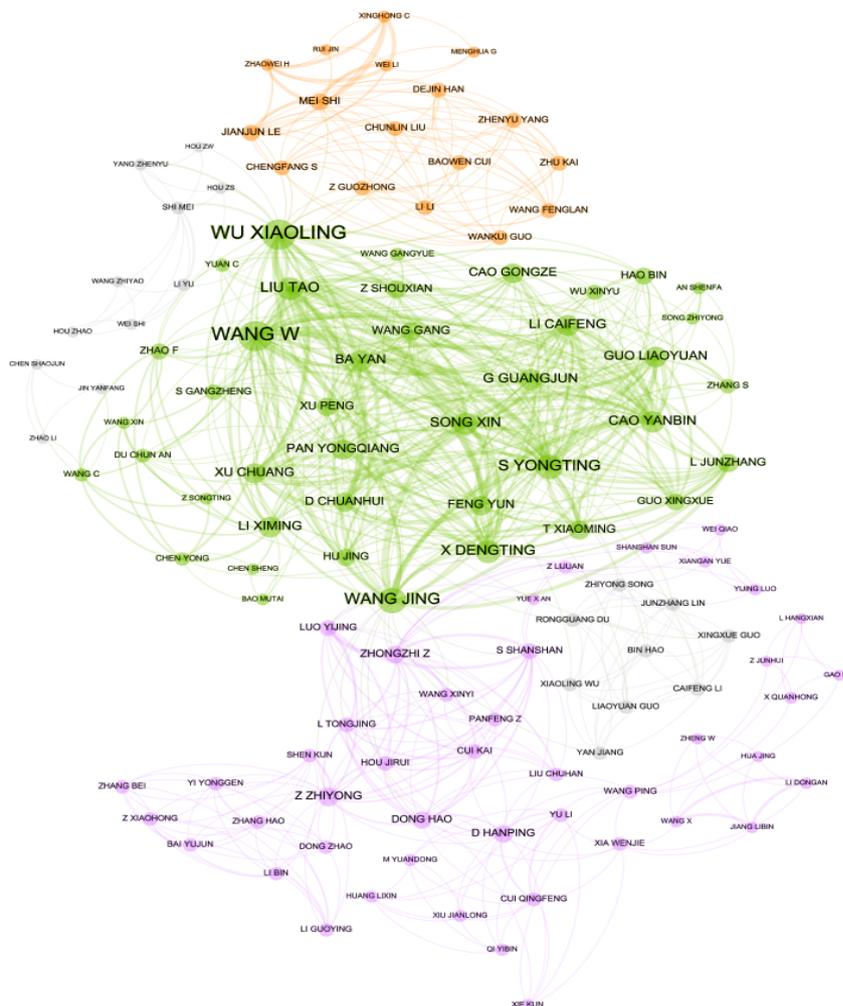
A correspondência de 70% entre os dados dessa rede e a linha de tendência do gráfico log-log sugere uma Lei de Potência. Esse achado, junto com a existência de polos, leva a inferir que a Rede de Coinvenção de Tecnologias MEOR é uma rede complexa que também apresenta características da tipologia livre de escala. Esse tipo de rede é adequado a sistemas nos quais existem alguns indivíduos que se relacionam com muitos outros, enquanto a grande maioria interage com poucos.

Seis pesquisadores chineses são os polos principais, isto é, são vértices que fazem muitas ligações por representarem indivíduos que possuem um número de conexões maior que os demais. São eles: Wang Weidong e Wu Xiaoling aparecem como inventores em 47 patentes; Wang Jing, em 36 e Song Yongting, em 32; Liu Tao e Xu Dengting, em 30. Após os inventores chineses, os que têm graus mais expressivos são os inventores de patentes da Du Pont: Hendrickson que está conectado com 13 inventores e Keller e Perry que se conecta com 12. Enfim, os polos são inventores que colaboram muito na produção de tecnologias MEOR ao realizarem um grande número de conexões, enquanto a grande maioria dos pesquisadores se conecta muito menos.

A Rede de Coinvenção de tecnologias MEOR possui 87 comunidades formadas por grupos de inventores que trabalharam juntos nas mesmas patentes. Entre essas, são encontradas diversas associações de quatro ou menos pesquisadores, uma comunidade expressiva com pesquisadores indianos e outras menores de pesquisadores canadenses. Contudo, ocorreu a

formação de 7 comunidades específicas interligadas de pesquisadores chineses, formando o componente gigante destacado na Figura 28.

Figura 28. Componente Gigante da Rede de Coinvenção de Tecnologias MEOR



Fonte: Elaboração Própria

Considerando o componente gigante, o grau médio aumentou para 12,221, indicando que, em média, cada pesquisador chinês colabora com 12 outros pesquisadores também chineses. A densidade aumentou para 10%, indicando maior conectividade entre os inventores em relação à rede completa, contudo, ainda significa baixa conectividade entre os inventores. O componente gigante com diâmetro 7 e caminho mínimo de 3,05 indica menor proximidade entre os inventores chineses, em comparação com o conjunto completo. Os seis maiores *polos* da rede completa participam da mesma comunidade.

Em relação à aglomeração da rede há muitos conjuntos de três vértices conectados no componente gigante, considerando a quantidade de triângulos e comparando com a rede completa, esse componente gigante possui 2.965 triângulos, mais da metade do total de que

aparece rede completa que é de 4.818. Os coeficientes de aglomeração da rede e do componente gigante são altos e próximos, indicam inventores mais conectados com vizinhos na rede completa que no componente gigante.

O estudo da Rede de Coinvenção de Tecnologias MEOR mostrou que existem inventores que se destacam no conjunto, tendo um maior número de invenções patenteadas e agregando maior número de inventores em torno de si. É possível inferir que o conjunto dos inventores em tecnologia MEOR é desconectado, pois, apresentam subgrupos que não possuem elementos de ligação entre si.

Ao definir a formação e o aspectos do comportamento do conjunto de inventores, essa rede de coinvenção contribuiu com os objetivos específicos: definir os atores importantes no desenvolvimento e aplicação das tecnologias MEOR e esclarecer a relação entre as patentes MEOR e os países produtores e receptores dessas tecnologias por meio da identificação dos diversos atores envolvidos.

6. PROJETO PETROGAL/IFBA/UFBA – UM CASO PRÁTICO DE PESQUISA EM MEOR

Este capítulo contempla o sexto objetivo específico desta tese que consiste em analisar os efeitos das abordagens da hélice tríplice e dos sistemas de inovação sobre a geração e a transferência das tecnologias MEOR. Nesse intuito foi estudado o Projeto de Pesquisa Petrogal/IFBA/UFBA e com realização conjunta da Universidade Federal da Bahia (UFBA) e do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), com apoio técnico e financeiro da empresa Petrogal Brasil e do Instituto Superior de Petróleo e Gás (ISPG). Essa parceria foi disciplinada por normas da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o órgão regulador das atividades relativas à indústria do petróleo no governo brasileiro. Realizado no período de 2017 a 2021, foi um caso exitoso de parceria entre academia e empresa para o desenvolvimento conjunto de pesquisa sob o aparato normativo do Estado, se aproximando do modelo de inovação da hélice tríplice tendo em vista o protagonismo das duas ICTs na formulação do projeto e na condução da pesquisa. O estudo foi feito a partir da análise documental das seguintes fontes: o projeto inicial, os relatórios técnicos, as patentes e publicações provenientes da pesquisa e os resultados oriundos do desenvolvimento do projeto.

Atuaram no projeto doutores e pós-doutorandos, pesquisadores visitantes, graduados/técnicos, doutorandos, mestrandos e graduandos. A equipe multidisciplinar foi composta por cerca de trinta pesquisadores de diversas áreas, entre eles, dois pesquisadores que atuam na Petrogal, foi sendo modificada no decorrer do tempo, de acordo com as suas fases de execução.

O projeto consistiu na pesquisa de alternativas biotecnológicas sustentáveis para aumento do fator de recuperação de petróleo de reservatórios carbonáticos e a sua concepção inicial considerou que:

As empresas de exploração e produção de petróleo buscam tecnologias inovadoras para aumento do fator de recuperação de seus campos tendo em vista que quantidades significativas de petróleo permanecem nos reservatórios após as etapas de recuperação primária e secundária. Técnicas de *enhanced oil recovery* (EOR), através das quais se injetam soluções poliméricas e surfactantes em poços produtivos, tem sido cada vez mais adotadas na etapa de recuperação terciária. Mais recentemente, a avaliação da sua aplicação na fase secundária ou mesmo primária tem sido realizada tendo em vista o aumento da produtividade do petróleo. A elevada saturação de óleo nos reservatórios se deve a problemas de sua varredura pela água injetada (*water sweep*), para forçar o óleo aderido à rocha reservatório a fluir para o poço de produção, à ocorrência da criação de caminhos preferenciais para a água injetada (*fingering*), ocasionando perda de varredura da água injetada, à elevada produção de água produzida (AP) e aos problemas com as interações óleo/rocha/água, onde o óleo fica

adsorvido na rocha reservatório, dificultando sua produção. (PETROGAL;IFBA;UFBA, 2021, p.2)

Na direção de combater esses problemas foram propostas inovações relativas às técnicas de produção e à utilização de novos bioativos, considerando que o gerenciamento sustentável da água produzida (AP) e a recuperação de petróleo representam grandes desafios à indústria de petróleo (Projeto). O projeto trabalhou o desenvolvimento de técnicas MEOR *ex situ*, nas quais polímeros e surfactantes são produzidos em instalações situadas na superfície por processos microbiológicos para posterior injeção nos reservatórios, visando o aumento do fator de recuperação de petróleo. Quando os bioativos são metabolizados por microrganismos originalmente presentes no reservatório ou nele injetados e estimulados pela injeção de nutrientes, é caracterizada a MEOR *in situ*. Polímeros e surfactantes são compostos importantes para aumentar a produção após a recuperação primária do petróleo. Os de origem química são utilizados nas técnicas EOR, enquanto nas técnicas MEOR são produzidos por processos microbiológicos e a menor custo. A MEOR tem sido empregadas majoritariamente na recuperação terciária, embora também possa ser aplicada na secundária e na primária.

O objetivo principal do projeto PETROGAL/IFBA/UFBA foi produzir bioativos microbianos (goma xantana, fucogel, álcool e ramnolipídeos) em água produzida (AP) e glicerina, e, posteriormente, verificar se as soluções contendo combinações desses bioativos são capazes de aumentar o fator de recuperação de petróleo em ensaios em meios porosos carbonáticos.

Segundo o documento do projeto inicial, as novas técnicas propostas para a produção de polímeros e surfactantes por processos microbiológicos são competitivas por empregar como insumos resíduos da produção de petróleo e de biocombustíveis: água produzida e glicerina respectivamente. O resultado consiste em produtos com características iguais ou superiores aos surfactantes químicos convencionais e produzidos em processos mais sustentáveis. O desenvolvimento de tecnologias viáveis a partir da água produzida se reverte em ganhos ambientais na medida em que se constitui numa alternativa para auxiliar na gestão de resíduos industriais cujo descarte demanda tratamentos prévios adequados. Paralelamente, a produção de soluções dos biopolímeros e ramnolipídeos em consórcio possibilita a sua injeção direta no poço, após centrifugação ou filtração e desinfecção, reduzindo as etapas convencionais de produção (secagem, embalagem e ressuspensão dos bioativos em água de injeção) e consequentemente os custos envolvidos. Segundo análises do Projeto P 3, além disso, as células retiradas, a depender da concentração e viabilidade, poderão retornar ao sistema através da

técnica de produção em batelada alimentada, reduzindo as etapas envolvidas com reativação de cepas e aumentando o rendimento do processo.

O projeto inicial também detalha o mecanismo relativo ao uso de bioativos na recuperação de petróleo e indica o tipo de trabalho realizado nessa pesquisa:

A injeção dessas moléculas em poços de campos petrolíferos pode incrementar a produção de óleo, pois são eficazes para combater problemas de *watersweep* e *fingering*, problemas comuns na maioria dos reservatórios petrolíferos, ao bloquear caminhos preferenciais. Os biossurfactantes solubilizam o óleo in place, reduzindo sua aderência à rocha reservatório ou formando emulsões com características de fluxo que favorecem sua produção, problemas comuns na maioria dos reservatórios petrolíferos. Nesta proposta será aperfeiçoada a produção desses bioativos, que serão caracterizados através de análises químicas e físico-químicas a fim de selecionar as combinações que apresentarem melhores propriedades para mobilizar o óleo em testes com plugues de rochas carbonáticas, visando aumentar o fator de recuperação do petróleo. A partir dos resultados dos ensaios laboratoriais, a realização de testes em reservatórios carbonáticos terrestres poderá se colocar como opção de avaliação da tecnologia em escala real. (PETROGAL;IFBA;UFBA, 2015, p.3)

Como já abordado nos capítulos anteriores, uma grande preocupação oriunda das atividades da indústria do petróleo é a destinação dos resíduos, em especial o grande volume de água produzida ao lado dos significativos índices de emissão de CO₂. Por esse motivo, são muito bem vindas e necessárias, as tecnologias que reduzam os impactos causados pela exploração do petróleo, como no caso específico da tecnologia desenvolvida nesse projeto, cujas matérias-primas são a água produzida e a glicerina bruta, ambas resíduos preocupantes da indústria do petróleo e de gás natural, respectivamente.

6.1 RESULTADOS DO PROJETO

O documento inicial do projeto Petrogal/IFBA/UFBA definiu os impactos econômicos, ambientais e sociais da pesquisa. Os impactos econômicos referiram-se à melhoria do fator de recuperação de petróleo com menor custo de exploração, a redução dos custos de produção de polímeros e surfactantes e a diminuição das despesas com tratamento de efluentes/resíduos. Os ganhos ambientais e sociais consistiram naqueles relativos à destinação adequada da água produzida e da glicerina bruta, evitando impactos ambientais em ecossistemas aquáticos e terrestres, beneficiando as populações em geral e especificamente as que vivem nas áreas que poderiam ser afetadas. (Projeto Petrogal, 2015)

O projeto também teve uma atenção específica à geração e difusão de conhecimento. Um dos seus objetivos específicos foi realizar prospecção tecnológica e estudos sobre a viabilidade técnica e econômica e a aplicação e difusão de tecnologias de recuperação avançada de petróleo.

Esse objetivo deu origem a um dos sete pacotes de trabalho nos quais o projeto foi estruturado: relativo à administração, à gestão e transferência de tecnologias, com o estudo dos impactos tecnológico, econômico, social e ambiental das tecnologias, composto por dois conjuntos de atividades. O primeiro foi ligado ao estudos dos impactos das tecnologias desenvolvidas, nele foram incluídos: prospecção tecnológica; impactos econômicos, sociais e ambientais; viabilidade técnica e econômica da aplicação da tecnologia em campo; mercado para sua difusão e adoção. O segundo referiu-se à divulgação científica, com publicação de artigos e ao depósito de patentes para divulgação dos resultados da pesquisa. (Projeto Petrogal, 2015)

Esta tese é fruto do primeiro conjunto, ao concentrar os estudos na prospecção tecnológica da MEOR com vistas a compreender o processo de inovação e difusão dessas tecnologias. Também contribuiu com o segundo grupo de atividades com as publicações de um artigo e de um capítulo de livro, ambos abordando a aplicação da análise de redes sociais e complexas na prospecção tecnológica. E ao mesmo tempo contempla o resultado esperado do relativo a geração de conhecimento sobre a viabilidade técnica e os impactos econômicos, sociais e ambientais das tecnologias desenvolvidas no âmbito do projeto.

O projeto contém vários resultados esperados que envolvem a geração e a difusão de conhecimento transcritos a seguir:

- Gerar conhecimento a respeito das técnicas e metodologias de laboratório desenvolvidas para os processos produtivos;
- Gerar conhecimento a respeito dos produtos que se busca produzir e sua eficácia, a partir de testes realizados com plugues de reservatórios carbonáticos;
- Gerar conhecimento sobre a viabilidade técnica e os impactos econômicos, sociais e ambientais das tecnologias desenvolvidas no âmbito do projeto;
- Espera-se que os trabalhos desenvolvidos possam sugerir novas direções para futuros esforços de P&D relativos a técnicas de EOR que utilizem bioativos.
- Os resultados relevantes poderão resultar na publicação de artigos e depósito de patentes que gerem valor econômico para as descobertas e torne possível a transferência das tecnologias desenvolvidas.

Segundo o relatório final do projeto, os principais resultados obtidos com o desenvolvimento da tecnologia em foco são os relativos ao aumento do fator de recuperação de petróleo por meio da injeção de soluções poliméricas à base de goma xantana de água produzida:

A produção dos bioativos foi otimizada para obtenção de biossurfactantes (ramnolipídeos) e dos seguintes exopolissacarídeos (EPS): xantana, EPS de *Enterobacter*, e levana de *Zymomonas* e *Bacillus*. A produtividade dos microrganismos, a composição molecular e as propriedades dos seus bioprodutos dependem fortemente da composição da água de produção, em especial da salinidade. As simulações computacionais permitiram estimar parâmetros físico-químicos que favorecem o aumento do fator de recuperação como decorrência da estabilidade do filme fino de salmoura situado entre a rocha e o óleo. Os diferentes produtos microbiológicos foram analisados e testados em escala de laboratório quanto à sua eficácia para o aumento do fator de recuperação, destacando-se, dentre eles, a goma xantana de água produzida (PWX), a qual elevou o fator de recuperação em até 19%, tanto na injeção do fluido na etapa de recuperação terciária (*late injection*) quanto na recuperação secundária (*early injection*). Este achado pode levar a um significativo impacto econômico decorrente do aumento da produtividade de campos de petróleo a partir da fase de recuperação secundária, antecipando intervenções que vem sendo realizadas apenas na fase terciária ou de recuperação avançada. Os resultados permitiram desenhar um processo de tecnologia microbiana de recuperação avançada *ex-situ*, na qual os bioativos são produzidos na superfície em meio contendo resíduos industriais e em seguida injetados no reservatório. O teste em ambiente real poderá qualificar a tecnologia para aplicação em campo. (PETROGAL;IFBA;UFBA, 2021, p. 6)

No que tange à contribuição científica e tecnológica para o setor do petróleo, os resultados foram publicações, orientações acadêmicas, entre outros. Entre as produções resultantes do desenvolvimento do projeto foram publicados seis artigos científicos, dois capítulos de livro e sete trabalhos em anais de eventos. Também foram depositados no INPI, no Brasil, dois pedidos de patentes de invenção relativos à um processo MEOR no qual os bioativos podem ser produzidos em campo a partir de resíduos industriais (água produzida e glicerina bruta) e injetados nos reservatórios. As orientações acadêmicas consistiram em: quatorze relativas à iniciação científica/tecnológica nas áreas de Engenharia Química, Engenharia Industrial Mecânica, Gestão da Inovação e Biotecnologia; duas no Mestrado na área de Biotecnologia; cinco referentes aos Doutorados em Difusão do Conhecimento e Biotecnologia e cinco supervisões de Pós-Doutorado/Equivalente nas áreas de Biotecnologia e MEOR. Essas produções seguem detalhadas no Quadro 19.

Também foi submetida uma proposta ao Prêmio ANP de Inovação Tecnológica 2020, relativa à Produção de Goma Xantana Termoviscosificante com Reutilização da Água Produzida e Glicerina Bruta e sua Aplicação em Processo de Recuperação Avançada de Petróleo.

Quadro 19. Produções Científicas e Tecnológicas Resultantes do Projeto PETROGAL/IFBA/UFBA

TIPO	TÍTULO	AUTORES	LOCAL	ANO
Artigos científicos	Effects of photo-stimulation with laser or LED on the composition of Xantana gum produced in media containing distilled water or dialyzed or not produced water by means of Raman spectroscopy	Pinheiro A.L.B., Soares L.G. Almeida P.F., Matos J.B.T.L., Santos J.N., Sampaio I.C., Crueira P.J.L., Silveira Jr.L., Amador D.M.	Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology 213	2020
	Composition of Xantana gum produced by <i>Xantomonas campestris</i> using produced water from a carbonated oil field through Raman spectroscopy	Sampaio I.C., Crueira P.J.L., Soares L.G., Santos J.N., Almeida P.F., Pinheiro A.L.B., Silveira Jr. L.	Journal of Photochemistry and Photobiology	2020
	Prospecção Tecnológica na Área de Recuperação Avançada de Petróleo por Ação Microbiana	Simoes L.S.; Ramos-de-Souza E., Almeida, P.F.	Cadernos de Prospecção, v. 12, p. 301-312	2019
	Xantana gum produced by <i>Xantomonas campestris</i> using produced water and crude glycerin as an environmentally friendlier agent to enhance oil recovery	Ramos-de-Souza, E.; Rodrigues, P.D.; Sampaio, I.C.F.; Bacic, E.; Crueira, P.J.L.; Vasconcelos, A.C.; Silva, M.S.; Santos, J.N.; Quintella, C.M.; Pinheiro, A.L.B.; Almeida, P.F.	Revista Fuel, v. 310	2022
	Up-recycling Oil Produced Water as the Media-base for Xantana Gum Production.	Sampaio, I.C.F.; Crueira, P.J.L.; Ferreira, J.A.S.; Santos, J.N.; Matos J.B.T.L., Pinheiro, A.L.B.; Almeida, P.F. Chinalia, F.A.	Biopolymers, v.113	2022
	Production and Viscosity of Xantana Gum are increased by LED irradiation of <i>X. campestris</i> grown in Media containing Produced Water of the Oil Industry	Crueira, P.J.L.; Almeida, P.F.; Pinheiro, L.A.B.; Sampaio, I.C.F.; Soares L.G.; Amador D.M.; Samuel, D.W.; Persheyev, S.; Silveira, L.; Pinheiro, A.L.B.	Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology	2022
Capítulos de livro	Difusão das inovações em tecnologias microbianas de recuperação avançada de petróleo. In: Difusão do Conhecimento: Educação, saúde, gestão e inovação	Simoes L.S.; Menezes A. M.F.; Ramos-de-Souza E. Souza A.C.S; Sampaio, R.L. (Org.)	EDUFBA	2019
	Surfactant/Alkali Stress Effect in Exopolysaccharide Production by <i>Xanthomonas</i> and <i>Enterobacter</i> Strains	Sampaio, I.C., Chinalia, F. A., Crueira, P.J.L., Louro A.S.F, Ramos-de-SouzaE., Matos J.B.T.L., Santos J. N., Almeida S.J., Pinheiro, A.L.B., Almeida, P.F.		2021

TIPO	TÍTULO	AUTORES	LOCAL	ANO
Trabalhos em Anais de Eventos	Nonlinear Electrohydrodynamics of Thin Brine Films in Enhanced Oil Recovery	Ramos-de-Souza E., Araújo J.M.; Batista L.S.; Lemos D.G.S.	Encontro de Outono Sociedade Brasileira de Física	2018
	The velocity field inside thin electrolytic films bounded by a fixed substrate and a hydrocarbon phase.	Lemos D.G.S., Ramos-de-Souza E., Araújo J.M.; Batista L.S.		2018
	The influence of nitrogen supplementation in produced water amended with crude glycerin for the production of rhamnolipid by <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Santos D.T., Almeida P. F., Nascimento L., Lima, J.B.T., Ramos-de-Souza E, Sampaio I.C.F., Widmer Neto L.F., Ferreira J.A.S., Chinalia, F.A.	7th International Symposium on Applied Microbiology and Molecular Biology in Oil Systems Emerging Innovation and Applications in petroleum microbiology	2019
	Levan produced by <i>Zymomonas mobilis</i> grown on carbon supplemented produced water effluent from the petrol industry. In: International Symposium on Applied Microbiology and Molecular Biology in Oil Systems	Ferreira J.A.S., Ricci I.A Figueiredo L.F., Nunes J.S., Sampaio I.C.F., Ramos-de-Souza E., Tereska D.; Chinalia F.A., Almeida P.F.		2019
	The effect of distinct sources of produced water and activated coal pretreatment on <i>Enterobacter amnigenus</i> exopolysaccharide production.	Ferreira, J.A.S., Chinalia F.A., Nunes J. S., Matos J. L., Figueiredo L.F., Ramos-de-Souza E., Almeida, P. F.		2019
	Comparing the production of levan by <i>Zymomonas mobilis</i> grown on produced water from oil industry in batch and bioreactor experimental conditions	Hora C.E.C., Matos J.B.T.L., Ferreira, J.A.S., Almeida, P.F.; Chinalia F.A.	30 Congresso Brasileiro de Microbiologia	2019
	Use of petrochemical industry wastes in the production of biosurfactant of industrial interest by <i>pseudomonas aeruginosa</i> .	Tereska D., Almeida P.F.	IV Simpósio Internacional de Microbiologia e Biotecnologia	2018
Pedidos de Patentes	Processo de otimização da produção de biopolímeros através de alcalinização e adição de surfactante com reutilização da água produzida e glicerina bruta	Titulares: IFBA, UFBA e Petrogal Brasil S/A. Financiadoras: Petrogal Brasil S/A, ANP.	Brasil	2020
	Método de produção de goma xantana termoviscosificante com reutilização da água produzida e glicerina bruta, goma xantana termo-viscosificante, formulação e processo de recuperação avançada de petróleo	Titulares: IFBA, UFBA e Petrogal Brasil S/A. Financiadoras: Petrogal Brasil S/A, ANP.	Brasil	2020

Fonte: Elaboração Própria a partir do Relatório Final do Projeto PETROGAL/IFBA/UFBA

Um outro resultado importante foi a criação do *Spin-off* acadêmico Mosaico Fluido, formado a partir do desenvolvimento dessa pesquisa. Segundo Mathisen e Rasmussen (2019), os *Spin-offs* são empreendimentos originados a partir de pesquisas e tecnologias desenvolvidas por universidades/CTs e voltados à comercialização de resultados de pesquisas e conhecimento científico. Os *Spin-offs* podem ou não ser patrocinados pelas instituições de origem ou por outros agentes, como escritórios de transferência de tecnologia. Os seus resultados econômicos podem ser robustos, assim como o impacto regional é potencialmente alto. Normalmente

negociam invenções com base na propriedade intelectual formalizada como patentes, as exceções são as áreas nas quais o sigilo é a estratégia escolhida. Alguns são baseados em conhecimentos científicos mais gerais e em conhecimentos tácitos. Frequentemente são fundados por equipes empreendedoras oriundas da comunidade científica: professores, pesquisadores, doutorandos, membros de equipes de projetos, estudantes e inclusive, empreendedores externos (MATHISEN e RASMUSSEN, 2019, tradução própria). Empresas também dão origem a *spin-offs*, nesse caso, as atividades começam a ser desenvolvidas como um de seus projetos até a *spin-off* ser oficializada e ocorrer a separação.

O *spin-off* acadêmico Mosaico Fluído foi criado após a conclusão do Projeto Petrogal/IFBA/FBA com o objetivo de propiciar difusão de inovações:

A Mosaico Fluído é uma *spin-off* acadêmica que surge lastreada em experiências de produção e geração de conhecimentos científicos e tecnológicos. Considera que há uma evidente desproporção no Brasil entre a significativa produção de conhecimentos científicos, refletida na crescente publicação de artigos, e a produção ainda pequena de conhecimentos tecnológicos, que se reflete em baixo número de produtos e serviços inovadores. Uma das razões para essa assimetria está no fato de que a pesquisa no país tem avançado significativamente nas instituições científicas e tecnológicas (ICTs) e muito menos nas empresas e empreendimentos que viabilizam a transferência das inovações para a sociedade. Neste sentido, a Mosaico Fluído enfoca a produção e difusão de tecnologias inovadoras para a sociedade, através da construção de interfaces entre as ICTs, aí incluídas as universidades e institutos de pesquisa, e as empresas e empreendimentos públicos e privados. (www.mosaicofluidopi.com.br)

A Mosaico Fluído atualmente executa um projeto em parceria com o IFBA e a UFBA, apoiado pela Petrogal/ANP, com o objetivo de desenvolver tecnologias de recuperação avançada de petróleo com base em águas inteligentes (formulação de fluidos aquosos com controle de salinidade e pH para elevar a recuperação do petróleo). Enfim, a criação desse *spin-off* retrata a importância e o sucesso da parceria entre academia e empresa.

6.2 O PROJETO PETROGAL/UFBA/IFBA E AS ABORDAGENS DA HÉLICE TRÍPLICE E DOS SISTEMAS DE INOVAÇÃO

O Projeto Petrogal/IFBA/UFBA é um típico exemplo de projeto de PD&I, desenvolvido em ambiente interativo universidades-empresa. Resultou em inovações geradas sob um modelo que se aproxima da hélice tríplice, uma vez que a academia assumiu o protagonismo com a UFBA e o IFBA desenvolvendo as novas tecnologias com suas equipes qualificadas. O governo assumiu o papel de regulador da parceria entre a academia e a empresa, por meio da ANP, que definiu regras para o financiamento de projetos de PD&I pelas empresas petrolíferas, que nesse caso específico é a Petrogal Brasil. Por outro lado, a ANP tem se movimentado no sentido de

estimular o financiamento de projetos de inovação de empresas, tendendo à dinâmica dos sistemas de inovação, nos quais, segundo Mahl (2011), o foco são as relações sistêmicas entre os esforços empresariais de P&D, universidades/ICTs e políticas públicas, sem atribuir relevância a algum deles;

A abordagem baseada no conceito de sistemas de inovação tem como foco a inovação e os processos de aprendizagem. Ela reflete a compreensão de que a inovação está associada à produção de conhecimento novo ou à combinação de elementos de conhecimento existentes (e às vezes novo) em novas aplicações bem como à difusão e à utilização de tais conhecimentos. (Mahl, 2011, p. 145)

Os contratos relativos à exploração do petróleo no Brasil possuem cláusulas de investimento em PD&I. Conforme o Regulamento Técnico ANP Nº 3/2015, essas cláusulas acarretam a obrigação das empresas petrolíferas contratadas realizarem despesas qualificadas como PD&I, na forma de projeto ou programa executado no País. A finalidade desse requisito converge com o entendimento de que a inovação é o motor do desenvolvimento, preconizado por Schumpeter:

a promoção do desenvolvimento científico e tecnológico no setor de Petróleo, Gás Natural, Biocombustíveis e outras fontes de Energia Renováveis, e na Indústria Petroquímica de Primeira e Segunda Geração, visando fomentar o desenvolvimento da indústria nacional, a busca de soluções tecnológicas e a ampliação do conteúdo local de bens e serviços. (ANP, 2015, p. 7).

Para melhor compreender as particularidades dessas cláusulas, é importante conhecer as regras relativas à exploração de petróleo no território brasileiro, feita a partir dos regimes de partilha da produção ou concessão, estabelecidos por lei. Segundo a ANP, no regime de concessão, a empresa, ou o consórcio, contratado pela União assume o risco exploratório, de investir e encontrar ou não o petróleo. Em contrapartida, a propriedade de todo o óleo descoberto e produzido na área concedida, fica com empresa concessionária que paga participações governamentais (taxas). Já no regime de partilha de produção, a União e a empresa contratada dividem o petróleo extraído da área contratada para exploração. Do total produzido, a empresa desconta, em óleo, os custos referentes à exploração, desenvolvimento e extração. O volume restante, é dividido entre a União e a petrolífera, que paga royalties relativos à sua parcela da produção. O regime de partilha de produção é o mais comum nos casos de grandes reservas, com grande volume de produção. (ANP, 2020)

A depender da modalidade do contrato, no mínimo entre 30% e 50% dos recursos relativos às cláusulas de investimento em PD&I, devem ser aplicados em projetos ou programas executados por ICTs credenciadas. (ANP) A partir desse percentual de aplicação de recursos, é possível questionar se o modelo de inovação do governo brasileiro para o setor do petróleo se enquadra na abordagem da hélice tríplice, na qual o protagonismo do processo de inovação é

assumido pela academia; ou se a ela é atribuída a mesma posição que a das empresas, numa aproximação aos sistemas de inovação, onde os diversos atores possuem a mesma relevância.

O importante papel da academia foi incorporado no Projeto Petrogal/IFBA/UFBA, na busca de soluções sustentáveis para a indústria do petróleo, ao propor soluções para o aumento do fator de recuperação do petróleo que utilizam resíduos da própria indústria como matéria prima. O uso da água produzida no processo de fabricação dos biossurfactantes e biopolímeros, leva à redução dos níveis de CO₂ com os quais as empresas de petróleo operam, ao diminuir a necessidade de bombeamento e tratamento do excesso de água do poço. Adicionalmente, o aumento do fator de recuperação do petróleo dos campos maduros, diminui a necessidade de abertura de novos poços, reduzindo os custos necessários nessa operação que tem se tornado cada vez mais difícil em função das restrições instituídas pelas COPs.

Contudo, o relatório final do projeto considerou que as tecnologias desenvolvidas neste projeto foram submetidas ao patenteamento com base nos resultados obtidos em escala de laboratório. As características relevantes dos processos que ocorrem em campo são contempladas, mas as hipóteses e premissas adotadas carecem de comprovação em ambientes realísticos. Os testes em campo são importantes para a comprovação da eficácia em ambiente real. Como ações futuras, indica-se fortemente a continuidade do projeto, com a realização de testes em campo de petróleo. (Relatório Final). A necessidade dos testes de campo já havia sido determinada no projeto inicial:

É possível que surjam externalidades positivas para as tecnologias desenvolvidas em laboratório, o que representaria benefícios diretos do projeto para a exploração de campos petrolíferos brasileiros. Entretanto, na sua continuidade, a pesquisa pode passar por uma etapa de testes das tecnologias em reservatórios carbonáticos terrestres antes da sua aplicação em definitivo em campos do pré-sal. Com resultados positivos, será possível sugerir e indicar o uso dos biocompostos desenvolvidos em campo, no intuito de aumentar o fator de recuperação e possivelmente reduzir custos em relação a tecnologias de EOR alternativas, inclusive aquelas que empregam compostos químicos geralmente importados. A aplicação das tecnologias em campos do pré-sal poderá ser realizada desde o início da produção com o objetivo de otimizar ao máximo o fator de recuperação. (PETROGAL;IFBA;UFBA, 2015, p. 6)

Enfim, apesar dos diversos resultados favoráveis obtidos pelo projeto, uma vez que os testes realizados restringiram-se ao ambiente de laboratório, assim como em várias outras experiências já relatadas na revisão da literatura, são necessários testes de campo com resultados robustos para aumentar as chances de utilização da nova tecnologia pela indústria. Assim é possível inferir sobre a importância da adoção de um dos dois modelos de inovação, seja a hélice tríplice ou sistemas de inovação, como política pública, para promover a integração entre academia e empresa durante todo o ciclo da inovação, favorecendo a realização dos testes

de campo necessários para a validação, visando elevar o nível TRL da tecnologia e sua consequente aplicação em escala industrial.

O alcance de níveis mais elevados na escala de maturidade tecnológica é fundamental para a concretização do processo de inovação com a adoção das novas tecnologias. Esse é um problema identificado inclusive no Brasil, uma vez que grande parte do conhecimento produzido nos ambientes acadêmicos não tem continuidade no sentido da realização de testes de campo e introdução das tecnologias no ambiente produtivo. A realização de estudos e testes de laboratório é essencial no início desenvolvimento da tecnologia que passa também por testes de campo para finalmente chegar à aplicação.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por um lado, entende-se a dinâmica da inovação como um fenômeno complexo, e por outro, que o crescente interesse pelas tecnologias MEOR ainda não se traduz em larga aplicação dessas tecnologias. Destaca-se aqui a necessidade de melhorar a compreensão sobre as relações entre os atores no processo de desenvolvimento e aplicação dessas tecnologias. Essa questão foi abordada nesse trabalho a partir da análise das redes sociais existentes nos ciclos de invenção de tecnologias MEOR. Os resultados obtidos trouxeram novos elementos à compreensão sobre a dinâmica de introdução dessas tecnologias no ambiente produtivo.

Esse estudo buscou mapear o ciclo de inovação da tecnologia MEOR a partir do conjunto de patentes depositadas sobre esse tema. O objetivo principal foi examinar, a partir da análise de cenários de cogeração e difusão de tecnologias, estratégias que favoreçam a transferência para a indústria de tecnologias MEOR geradas em ambientes interativos (ICT-Empresa), impulsionando as patentes para aplicação e conseqüentemente para a inovação.

Com foco na inovação na indústria do petróleo, esse trabalho considerou as particularidades e complexidades desse setor que é intensivo em tecnologia, onde as operações chegam a assumir proporções gigantescas e que atua em uma cadeia diversificada de corporações, envolvendo empresas de exploração, fornecedoras de serviço, instituições de pesquisa, entre outras, tudo sob a regulamentação do Estado.

Em se tratando de uma indústria intensiva em capital há predominância de inovações incrementais, posto que as mudanças de processo geralmente requerem grandes investimentos financeiros. Isso pode explicar o perfil conservador do setor do petróleo. Entretanto, ainda que menos frequentes, as inovações radicais têm obtido cada vez mais espaço face ao grande desenvolvimento experimentado nos últimos anos em áreas como a biotecnologia, nanotecnologia e tecnologias da informação e comunicação. A base de conhecimento dessas áreas é significativa para o desenvolvimento de aplicações, resultando em novos padrões tecnológicos na indústria do petróleo, que por ser intensiva em capital, baseada em altos investimentos, tende a um perfil conservador no direcionamento da sua estratégia tecnológica, reforçado pelo comportamento do mercado que nessa área é formado por grandes multinacionais.

Entre os vários tipos de empresas que compõem a complexa indústria do petróleo as *Majors* e as Companhias Petrolíferas Nacionais ocupam lugar de destaque. Por movimentarem

grande volumes de produção e de recursos financeiro definem os rumos tecnológicos do setor. As parcerias ampliam a influência das empresas muito além da sua participação acionária ou operações diretas, como no caso das *Majors* que detêm participações em campos petrolíferos que representam cerca de 40% da produção das Independentes, o que é muito mais do que a sua produção própria. Nesse ponto também é importante destacar o volume da participação das petrolíferas chinesas, em especial as gigantes PetroChina e Sinopec que possuem participação representativa na indústria mundial.

A International Energy Agency tem ressaltado a necessidade de posicionamento das empresas de petróleo e gás mediante as transições energéticas, de modo a esclarecer as implicações para suas operações e modelos de negócios e, inclusive, explicar as contribuições que podem fazer para acelerar o ritmo da mudança. Também seguem nesse sentido, os resultados das Conferências das Partes articuladas pela ONU, com destaque para o compromisso feito por mais de 25 países para encerrar novos financiamentos internacionais para projetos de combustíveis fósseis até o final de 2022, um dos melhores resultados da COP-26 de Glasgow. Contudo, a própria IEA indica empresas que têm avançado na melhoria dos índices das emissões de CO₂ enquanto outras regrediram. Ao mesmo tempo conclui que existe baixo engajamento da indústria do petróleo no cumprimento das metas estipuladas pelas COPs. A baixa adesão das principais empresas e países produtores de petróleo aos compromissos relativos à redução das emissões de CO₂ é um dos elementos que explica essa realidade.

Adicionalmente, é notória a contradição entre o resultado das duas últimas Conferências das Partes e a atual configuração da matriz energética mundial, na qual o petróleo continua a assumir papel de destaque no sistema de geração de energia para a sociedade, ainda que o uso de energia fóssil resulte na emissão de dióxido de carbono (CO₂). Mesmo com a crescente relevância das fontes alternativas de energia nos últimos anos, o petróleo ainda é fundamental. O papel especial que a indústria do petróleo possui na matriz energética mundial pode ser explicado por sua capacidade de aliar o desenvolvimento a ganhos econômicos, além, é claro, do atual modo de vida baseado no uso dos combustíveis fósseis em todo o mundo.

Contudo, um outro aspecto que torna mais ainda questionável a manutenção do petróleo em papel de destaque na matriz energética mundial é o seu próprio processo de recuperação, no qual já ocorre a emissão de CO₂. A injeção de água nos poços é necessária para a extração do petróleo, mas nem toda água é reinjetada ou consumida durante o processo. A água produzida é um resíduo do processo de exploração de petróleo e deve ser tratada antes da reinjeção ou descarte, para isso, demanda estruturas de tratamento e consumo de energia. O corte de água

aumenta ao longo da vida útil do reservatório, quando a produção diminui, demandando cada vez mais injeção de água para mobilização do óleo residual. No corte de água acima de 90%, grande parte da energia obtida a partir do petróleo é utilizada no manuseio da água injetada e produzida, levando a grandes emissões de CO₂. Assim, quanto mais maduro o poço, maior o seu impacto com relação ao uso de água e a consequente emissão de CO₂.

Neste ponto, por reduzir o corte de água, a Recuperação Microbiana Aprimorada de Óleo (MEOR) torna-se vantajosa do ponto de vista ambiental, quando comparada ao processo de extração de petróleo pela injeção de água. A energia média investida para produzir um barril de petróleo a partir de injeção de biopolímero na MEOR, por exemplo, é menor pela inexistência do manuseio de grandes volumes de água. Consequentemente, a quantidade de CO₂ do óleo produzido também é consideravelmente reduzida.

Os processos MEOR envolvem a estimulação de micróbios nativos do reservatório ou a injeção de consórcios de bactérias selecionadas. Microrganismos e nutrientes são os dois elementos básicos que o compõem, com o objetivo de produzir metabólitos que favoreçam a recuperação do petróleo. Além da melhoria no fator de recuperação do petróleo, já comprovada durante a aplicação da MEOR, estratégias como o uso de matérias-primas mais baratas favorecem a sua viabilidade. A tecnologia desenvolvida no Projeto Petrogal/IFBA/UFBA, por exemplo, utiliza como matérias-primas (meio de cultura e nutrientes), resíduos da indústria do petróleo e de gás natural: a água produzida e a glicerina bruta, respectivamente. O resultado é a redução nos custos de produção de biossurfactantes, além do ganho ambiental pela reinserção de resíduos no processo produtivo.

A MEOR vem apresentando resultados positivos comprovados em vários países por meio de testes em laboratório e de campo. A revisão da literatura possibilitou o conhecimento de diversas das aplicações da MEOR em campo, realizadas em vários países, com aumento na produtividade dos poços e redução no volume de água produzida. Os resultados variaram conforme as condições de cada reservatório, o que pode ser atribuído aos processos bioquímicos envolvidos que conferem uma complexidade à MEOR. Contudo, apesar de ser uma tecnologia antiga, com pesquisa e patenteamento substanciais, a MEOR ainda não foi consideravelmente aplicada na indústria onde as tecnologias aplicadas na recuperação de petróleo não são microbianas.

A complexa dinâmica do setor petróleo influencia a trajetória da tecnologia MEOR, por isso, é importante compreender quais das suas aplicações resultam em maiores ganhos e, portanto, têm maior possibilidade de aplicação e adoção pelo setor. O comportamento e o

histórico do desenvolvimento de um setor, com sucessos, falhas, conhecimentos e resultados, influi na dinâmica e normas relativas à mudança técnica, e, conseqüentemente, da inovação. As trajetórias tecnológicas são influenciadas por esses condicionantes que podem levar, inclusive, a aceitação e incorporação das inovações ou a rejeição, dificultando ou retardando a transferência e aplicação de novas tecnologias. Desse modo, é possível inferir que a atuação das *Majors* e das principais NOCs em busca da redução nas emissões de CO₂ traria resultados bastante significativos. Como também a adoção da MEOR por essas companhias levaria a uma e grande disseminação dessas tecnologias na indústria do petróleo.

A revisão dos artigos de aplicação da tecnologia MEOR validou o problema central desta investigação que consiste no fato de que com o amplo uso dos combustíveis fósseis, grande parte da população mundial contribui com as emissões de CO₂ que geram mudanças climáticas nocivas. Contudo, a MEOR é pouco aplicada na indústria do petróleo, mesmo havendo publicações de testes de campo com resultados ambientais e econômicos favoráveis e com a existência de patentes oriundas de pesquisas conjuntas entre universidades/ICTs e empresas.

A pergunta de partida dessa tese, originada a partir do problema foi a seguinte: Como favorecer a difusão de inovações MEOR produzidas em interativos (ICT-Empresa) no Brasil, conciliando as especificidades da academia com as complexidades das cadeias de produção da indústria de petróleo, que envolvem os operadores e seus consorciados (empresas petrolíferas) e fornecedores de bens e serviços ?

A busca pela resposta para essa pergunta possibilitou agregar contribuições teóricas nas áreas do estudo da inovação em tecnologias MEOR e meio ambiente, bem como da aplicação da teoria de redes na prospecção tecnológica de patentes. As patentes configuram-se numa boa ferramenta para explicitar o conhecimento desenvolvido no processo de inovação e também para possibilitar o acesso ao conhecimento disponível sobre inovações e tecnologias precedentes, favorecendo a integração das etapas de pesquisa e desenvolvimento do ciclo de inovação. Contudo, a propriedade intelectual tem influencia no começo do ciclo de inovação tecnológica, especialmente na etapa da invenção, mas a dinamização das etapas de desenvolvimento e aplicação da inovação depende de outros fatores, especialmente em áreas complexas como essa.

Considerando que os agentes da inovação estão ligados por linhas dinâmicas que representam as suas interações no ciclo de inovação, a análise de redes sociais e complexas, configurou-se como uma ferramenta de suporte para examinar os dados oriundos das patentes. Os resultados da análise das redes foram condizentes com os conteúdos extraídos na revisão da

literatura que visou examinar os impactos da transição energética na indústria do petróleo e do imperativo ambiental relativo às emissões de CO₂ e a água produzida gerada, considerando a inserção das tecnologias MEOR nesse processo, primeiro objetivo específico deste trabalho.

As quatro redes construídas partir das patentes MEOR representaram os diversos atores envolvidos, a relação existente entre eles e entre as patentes e os países. A partir da Rede Depósito de Patentes, ficou demonstrado que entre os 33 escritórios que receberam solicitações de depósitos de patentes MEOR, os mais procurados foram os da China, Estados Unidos e Canadá. A partir dessa informação, esses poderiam ser considerados os países preferenciais para a proteção da propriedade intelectual relativa à MEOR, contudo, o comportamento dos grafos variáveis no tempo (TVG) aplicados a essa rede revelou uma mudança nos escritórios preferenciais no decorrer do tempo, apesar de vários escritórios estarem presentes nos quatro intervalos observados.

O escritório da China, polo principal na rede completa, começou a se destacar no cenário de patenteamento de tecnologias MEOR apenas a partir de 2001, já como polo principal, mantendo-se nessa posição até o final do período analisado. O TVG chamou a atenção para escritórios que não apareciam como relevantes na rede completa, mas tiveram participação expressiva em determinado período: o do Canadá e da Austrália foram dois dos cinco escritórios mais relevantes nos quatro períodos. O escritório da Austrália não é um dos polos principais da rede completa, contudo, o resultado do TVG indica a importância desse país no cenário de desenvolvimento de tecnologias MEOR. Por fim, os Estados Unidos permaneceu como um dos cinco principais polos no primeiro, terceiro e quarto períodos. Então, é possível inferir que os escritórios preferenciais para depósito de patentes MEOR são: Estados Unidos, Canadá, Austrália e China.

Nestes quatro países existem poços de petróleo maduros que podem ser beneficiados com a implantação da MEOR e também grandes corporações petrolíferas que, por sua vez, tem potencial de alterar o atual padrão da indústria do petróleo relativo à baixa incorporação dessas tecnologias no processo produtivo. Segundo a revisão da literatura, China, Estados Unidos e Canadá são os países nos quais foram realizados mais testes de aplicação da MEOR em Campo.

Os resultados das análises em separado das redes individuais dos polos principais dessa rede, possibilitaram uma melhor compreensão do comportamento dos escritórios da China, EUA, Canadá, Escritório Mundial (WIPO) e Brasil. Com relação à China, observou-se que 64% dos titulares que submeteram registro a esse escritório são chineses, dos quais apenas três buscaram registros em outros escritórios: Estados Unidos, WIPO e Japão. A revisão da

literatura apontou que o movimento de crescimento explosivo da quantidade de patentes solicitadas pelas empresas chinesas não se restringiu ao setor de petróleo. O número de pedidos e concessões de patentes aumentou de forma constante nos últimos anos, particularmente depois que a China ingressou na OMC em 2001.

A representatividade da China também é expressiva nas Redes de Coinvenção e de Titulares de Tecnologias MEOR. A construção dessas redes visou o terceiro objetivo específico que consiste em definir os atores importantes no desenvolvimento e aplicação dessas tecnologias. Mais uma vez, os chineses compuseram o maior grupo em ambas as redes. Na Rede de Coinvenção, do total de 482 inventores, 6 chineses foram os polos, com 30 ou mais conexões; fora desse conjunto, o inventor com maior número de conexões foi um americano, com 13 conexões, demonstrando a grande diferença de interatividade dos demais inventores, em relação aos chineses que produzem muito mais em conjunto. O grupo de inventores chineses também foi o mais conectado da rede, originando um robusto componente gigante.

A China continuou se destacando na Rede de Titulares: sua rede apresentou quase o dobro do tamanho da rede dos Estados Unidos, que aparece em segundo lugar, com o dobro da rede do Canadá. Observando os titulares por categoria, as empresas mais representativas são as INOCs chinesas: China National Petroleum Corporation e Sinopec, que também ocupam posição de destaque no setor de petróleo mundial.

Já o escritório dos Estados Unidos apresentou uma rede mais descentralizada que a chinesa, em termos quantidade de escritórios contemplados e número de registros de patentes a ele submetidos, indicando a existência de famílias de patentes oriundas de titulares desse país. Apesar da maioria dos titulares serem nacionais, essa rede indica maior procura de titulares estrangeiros pelo escritório americano, diferente do ocorrido na China.

Ainda na Rede de Titulares de patentes MEOR, o Canadá foi o terceiro polo, com 6 escritórios e 48 titulares, na maioria americanos, 15, seguidos por 11 canadenses. O padrão do escritório dos Estados Unidos, relativo a alta procura por titulares de patentes de outros países, foi repetido.

O escritório mundial é o quarto polo e indica os titulares que tem uma estratégia de comercialização internacional, mediante o registro de famílias de patentes. São 42 titulares, oriundos de 10 países, sendo a maioria dos Estados Unidos, seguidos pelos noruegueses. Entre os titulares principais estão grandes companhias petrolíferas internacionais. A maior quantidade

de depósitos, 34, é proveniente de empresas, mas também estão presentes 4 universidades, 2 ICTs e 3 inventores pessoa física.

A fim de conhecer a realidade brasileira, foi destacada a rede correspondente ao Brasil. Formada 26 titulares, oriundos de 8 países, entre os quais estão dois brasileiros: a Petrobrás e a UFBA, mais o escritório dos EUA. Da análise das redes ego relativas aos escritórios polos, conclui-se que a maior parte dos depósitos de patentes é submetida por empresas. Em segundo lugar seguem as universidades nos escritórios da China, EUA e WIPO. No Canadá, os inventores submeteram mais depósitos que as universidades

Na análise da rede de titulares por categorias, ICT/Universidade, Empresa, Governo e Inventor foram identificadas apenas oito ligações entre titulares de categorias diferentes. A ligação mais diversificada ocorreu entre entes chineses, unindo ICT, empresa e inventor. As demais reuniram empresa e ICT/Universidade, ICT e Governo, Empresa e Governo e Empresa e Inventor. Com esse resultado, não é possível afirmar que essa rede é compatível com o modelo de inovação da hélice tríplice, no qual há destaque para a academia. As empresas, incluindo algumas das maiores e mais influentes petrolíferas do mundo, aparecem nessa rede em um número mais representativo, indicando um comportamento que se aproxima mais de um sistema setorial de inovação.

Foi observada a presença de apenas dois entes governamentais na rede, o Departamento de Energia dos Estados Unidos e a República Popular da China. Considerando que essa rede representa exclusivamente a titularidade das patentes, não foi possível afirmar que o governo não participa do processo de inovação MEOR, uma vez que no ciclo de inovação, os entes governamentais podem assumir papéis distintos ao de titular das patentes. Desde o *Bayh-Dole Act* aprovado nos Estados Unidos em 1980, a estratégia de gestão do conhecimento por parte do Estado passa a possibilitar o patenteamento por universidades e empresas de tecnologias desenvolvidas com o apoio público. A partir de então, o foco deixou de ser o patenteamento pelo Estado que passou a assumir o seu papel no estímulo à inovação nas universidades e empresas. As ideias básicas do *Bayh-Dole Act* tem sido incorporadas nas políticas de inovação dos diferentes países, inclusive no Brasil.

Entretanto, o fato da China e dos Estados Unidos serem os atores com maior representatividade nas Redes Registro de Patentes e na Rede de Titulares e os únicos países com participação do Estado na titularidade de patentes merece uma investigação mais aprofundada.

Os grafos variáveis no tempo da Rede de Titulares de Tecnologias MEOR demonstraram a redução no número de titulares na segunda década, o crescimento discreto na terceira e expressivo na quarta e última década analisada, dos anos de 2011 a 2020. Observou-se que os números de pedidos de patentes e de publicações também aumentou muito nesse mesmo período, embora tenha havido o aumento do interesse nas tecnologias MEOR a partir de 2001.

Cinco das empresas titulares de patentes MEOR, localizadas nos Estados Unidos e na China, já atuam com MEOR. São empresas que operam na exploração de reservatórios ou são fornecedoras que implantam a solução MEOR em petrolíferas. Todas têm obtido resultados positivos na redução das emissões de CO₂ e do corte de água, com aumento na quantidade do petróleo recuperado, confirmando a efetividade da MEOR na melhora dos indicadores ambientais.

A Rede Semântica de Patentes MEOR possibilitou comparar elementos das tecnologias MEOR existentes e em aplicação a partir das informações disponíveis nas patentes, parte do segundo objetivo específico deste estudo. As unidades de significado que surgiram com maior expressividade nessa rede confirmaram a tendência atual do uso de surfactantes, sendo que no início do desenvolvimento da tecnologia MEOR, os polímeros foram mais utilizados. As informações disponíveis nas patentes não foram suficientes para identificar se esses polímeros eram solúveis em água.

A partir desses achados foi possível avaliar os pressupostos estabelecidos para essa pesquisa. De acordo com o primeiro pressuposto, as restrições ambientais relativas às emissões de CO₂ e aos efluentes de água produzida gerados na indústria do petróleo favorecem a difusão das técnicas de aumento do fator de recuperação do petróleo baseadas em bioativos (MEOR) em substituição a técnicas que tradicionalmente usam produtos químicos sintéticos. A revisão da literatura, aliada ao estudo comparativo dos exemplos de parcerias ICT-Empresas para a geração de inovação no setor do petróleo, confirmou esse pressuposto como verdadeiro. Contudo, é importante observar que as restrições ambientais favorecem, mas não foram suficientes para a ampla adoção das tecnologias MEOR na indústria do petróleo.

Esse pressuposto também foi validado pelo conjunto de informações sobre: as restrições ambientais oriundas das COPs, a atual configuração da matriz energética mundial, a existência de empresas que comercializam tecnologias MEOR e, finalmente, sobre as características da MEOR relativas ao aumento do fator de recuperação do petróleo aliado à redução do corte de água e consequentemente das emissões de CO₂.

As restrições nas emissões de CO₂ negociadas nas COP21 e 26 levaram à posicionamentos no setor produtivo, como o da Beyond Oil and Gas Alliance (BOGA), liderada pelos governos da Dinamarca e da Costa Rica, que reúne governos e partes interessadas na eliminação gradual da produção de petróleo e gás, inclusive com ações concretas relativas ao encerramento da assinatura de novos contratos para exploração de petróleo. Porém, os principais produtores, países e companhias, não tem participado desse tipo de acordo, resultando em poucos impactos positivos oriundos desse tipo de iniciativa.

Por outro lado, mesmo dentro dessa realidade, e em função da atual configuração da matriz energética mundial, na qual o petróleo continua a assumir papel de destaque no sistema de geração de energia, são demandadas tecnologias alternativas que reduzam as emissões de CO₂ no processo de recuperação de óleo.

As medidas e metas de redução de emissões aparecem nas estratégias de grandes empresas de petróleo e gás e a busca de alternativas para reduzir as emissões de CO₂ tem sido uma preocupação de parte da indústria do petróleo. As tecnologias MEOR possuem um grande potencial nesse sentido ao reduzirem o corte de água e a quantidade de CO₂ gerado, possibilitando o aproveitamento de resíduos do processo produtivo do petróleo e gás, resultando em custos mais baixos, conforme explanado anteriormente. A Rede Semântica de Patentes MEOR confirmou a relevância da água do CO₂ nas tecnologias MEOR e indicou uma maior atenção à água nas patentes depositadas.

Enfim, as restrições ambientais, em especial as negociadas nas COPs, favorecem, embora não sejam determinantes na difusão da MEOR, que podem, inclusive, substituir as técnicas que tradicionalmente usam produtos químicos sintéticos por apresentarem resultados superiores quanto ao aumento do fator de recuperação e a redução do corte de água e das emissões de CO₂.

Já o pressuposto dois afirmou que estratégias adequadas facilitam a difusão das tecnologias MEOR desenvolvidas em ambientes interativos (ICT-Empresa) que não estão em aplicação, apesar de gerarem ganhos econômicos para a indústria petrolífera, ao aumentar o fator de recuperação do petróleo com baixo investimento e de resultarem em ganhos ambientais relativos à redução do uso de água e das emissões de CO₂ no processo de extração de petróleo, impactando positivamente a população que utiliza combustíveis fósseis. Assim como o primeiro, esse pressuposto também foi confirmado. Os elementos desse estudo que conduziram a essa conclusão foram: os motivos para a baixa incorporação da tecnologia MEOR na indústria, relatados na literatura; os resultados da análise da Rede de Titulares de Tecnologias MEOR e o

estudo comparativo dos exemplos de parcerias ICT-Empresas para a geração de inovação no setor do petróleo.

A literatura indicou as seguintes razões para as tecnologias MEOR não receberem ampla atenção da indústria do petróleo, mesmo com uma longa história de atividade e apresentando resultados positivos e promissores nos testes de campo: 1. pouca cooperação e visões distintas entre microbiologistas, engenheiros, geólogos, operadores e economistas; 2. divulgação parcial dos resultados, principalmente dos oriundos dos testes de campo; 3. percepção negativa sobre o uso de bactérias e seu manejo em campo, apesar de testes de laboratórios indicarem que as culturas mistas de bactérias são seguras; 4. dificuldade de extrapolar os resultados dos testes um poço para outros; 5. ausência de resultados de campo padronizados e análises pós-ensaio; 6. falta de resultados de testes de longo prazo e, por fim, 7. necessidade de extensos testes de laboratório para determinação e controle dos microrganismos.

O confronto dessas lacunas com os resultados da Rede de Titulares de Patentes MEOR e com aspectos comuns entre as empresas que utilizam e comercializam tecnologias MEOR levaram a algumas estratégias capazes de favorecer a sua transferência e a aplicação nos processos produtivos das empresas que exploram petróleo.

A rede de titulares de tecnologias MEOR é muito esparsa, devido às poucas conexões existentes entre os titulares, que em sua maioria dos titulares são individuais. O entendimento é que as tecnologias MEOR, em sua maioria, são desenvolvidas por empresas, por ICTs/Universidades ou ainda por inventores autônomos separadamente. Contudo, essa rede ainda indicou haver parcerias ICT-Empresas nas patentes MEOR, apesar de ocorrerem em pequeno número. Também, foi comprovada a relevante existência de pesquisas conjuntas ICTs/Empresas na área da MEOR, a partir do estudo das empresas titulares de patentes que já comercializam essa tecnologia.

Por outro lado, alguns dos titulares que atuam no mercado com tecnologias MEOR relataram parcerias de sucesso com universidades, ICTs e mesmo com outras empresas que foram fundamentais para o desenvolvimento dos seus produtos e longevidade do negócio. O fomento às parcerias entre diferentes tipos de instituições (empresas e ICTs), com a atuação de equipes multidisciplinares qualificadas, é uma primeira estratégia que aproximaria o entendimento e ampliaria a visão desses agentes e instituições sobre a tecnologia MEOR. Essas parcerias também facilitariam o aumento na realização dos testes em campo, fundamentais para a geração de resultados mais robustos sobre as novas tecnologias. O conhecimento gerado por meio dessa estratégia reduziria progressivamente as dúvidas relativas à segurança,

adaptabilidade e efetividade dos métodos MEOR. A presença das universidades/ICTs nas parcerias, além de ser fundamental para as atividades de pesquisa, favoreceria a difusão do conhecimento sobre a aplicação da MEOR, uma vez que a divulgação científica é uma das funções intrínsecas desse tipo de instituição

As parcerias entre diferentes tipos de instituições são essenciais desde a etapa dos projetos de pesquisa e, inclusive, deram origem a algumas das empresas focadas na comercialização ou utilização das tecnologias MEOR em campo. Essas experiências indicaram uma segunda estratégia válida que é a constituição de empresas de base tecnológica, a partir do desenvolvimento de projetos de pesquisas, como passo importante para a inserção das inovações MEOR no mercado. Um exemplo é a *spin-off* Mosaico Fluído, originada a partir do projeto de pesquisa Petrogal/IFBA/UFBA, que reuniu a empresa petrolífera Petrogal com duas instituições acadêmicas o IFBA e a UFBA, para gerar inovações na área de tecnologias MEOR. Nesse projeto foram geradas tecnologias MEOR *ex-situ*, utilizando resíduos da indústria do petróleo e gás, resultando em divulgação por meio de publicações científicas e em patentes de titularidade.

Outro elemento comum a algumas das empresas que já comercializam tecnologias MEOR, indica uma terceira estratégia possível: o corpo dirigente qualificado, inclusive tendo alguns membros com experiência em grandes corporações petrolíferas.

É essencial que esse movimento seja precedido por testes de campo bem sucedidos e amplamente divulgados. Ressalta-se assim, mais uma vez, a importância desses testes e da sua publicação, configurando a quarta estratégia: aumento da quantidade de testes de laboratório e de campo aliado à ampla divulgação científica da metodologia empregada e dos resultados obtidos. Essas ações reduziram aos poucos a percepção negativa sobre o uso de bactérias no processo de exploração do petróleo, além de poderem levar a maior padronização e a novos métodos para adaptação do uso da MEOR em reservatórios de características distintas. Nesse ponto seguem sendo relevantes as parcerias das ICTs com corporações da indústria do petróleo, para viabilização dos testes.

Esse conjunto de estratégias contempla o objetivo geral desse trabalho que consistiu em examinar, a partir da análise de cenários de cogeração e difusão de tecnologias, estratégias que favoreçam a transferência para a indústria de tecnologias MEOR geradas em ambientes interativos (ICT-Empresa). Entretanto, a partir da rede de titulares, é possível afirmar que a invenção ou patenteamento se caracterizam como isolados, mas não há dados suficientes para concluir o mesmo sobre a difusão dessas tecnologias, uma etapa necessária para que se tornem

inovações, a partir do licenciamento de patentes ou cessão de direitos, tópicos que não foram analisados nessa pesquisa que foi baseada em patentes.

Segundo o terceiro pressuposto dessa pesquisa há necessidade de promover o desenvolvimento da indústria do petróleo no Brasil, particularmente na área dos campos maduros que estão atraindo novos *players* (empresas) demandantes de tecnologias que possam aumentar a produtividade da indústria. Essa afirmação foi comprovada pelos dados coletados da ANP e pelo conjunto de publicações científicas que ressaltam a pertinência em investir no desenvolvimento de novas tecnologias que possam aproveitar a capacidade e infraestrutura já instalada nos campos maduros. Adicionalmente, a Rede Ego do escritório patentário brasileiro demonstrou a existência de depósitos de patentes feitos por titulares de outros países. A esse fato, soma-se a entrada de novos *players* no cenário da indústria do petróleo brasileira mediante as ofertas para operação de campos maduros feitas pela ANP.

Enfim, as informações geradas nessa pesquisa podem ser usadas para direcionar e ampliar o campo de investigação dos pesquisadores e inventores, de modo a identificar e preencher lacunas existentes. Também é útil durante a escolha dos escritórios para depósitos das patentes. A metodologia empregada pode ser transposta para outros estudos e áreas onde se pretenda conhecer estratégias para a transferência de tecnologias produzidas em ambientes interativos (ICT-Empresa). Um pré-requisito para sua aplicação é entender a técnica de análise de redes sociais e complexas que demanda o domínio de ferramentas computacionais específicas utilizadas para a elaboração das redes, bem como o conhecimento da teoria necessária para a análise.

Essa tese resultou nas seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- esclarecer se a participação do governo no processo de inovação, como parte da hélice tríplice, alavanca o número de patentes MEOR geradas.
- analisar se as bases de dados relativos às patentes dispõem de informações relativas aos vínculos dos inventores a instituições, de modo a possibilitar a incorporação da rede de afiliação de inventores.
- desenvolver estudos para aplicação das redes multicamadas para representar o ciclo de inovação, interligando inventores aos titulares das patentes e esses aos escritórios patentários.
- desenvolver um software para automatizar (no todo ou em partes) o processo de elaboração das redes.

A elaboração dessa tese utilizando métodos qualitativos ao lado dos quantitativos revelou a importância de empregar estratégias diversas na aproximação e estudo dos fenômenos e sistemas da vida real. Olhares interdisciplinares possibilitam o entendimento dos processos de geração e difusão do conhecimento, a partir de uma realidade complexa podem contribuir para representar o conhecimento a partir de novas perspectivas, resultando em contribuições únicas. Esse foi o grande ganho por elaborar essa tese sob o amparo da linha de pesquisa em Difusão do Conhecimento: Informação, Comunicação e Gestão do Programa de Pós-Graduação Multi-Institucional em Difusão do Conhecimento.

8. REFERÊNCIAS

ADKINS, Jon P.; CORNELL Laura A.; TANNER, Ralph S. **"Microbial composition of carbonate petroleum reservoir fluids."** Geomicrobiology Journal 10.2 (1992): 87-97.

ADVANCED BIOCATALYTICS. Site da Advanced Biocatalytics. Empresa de Tecnologia MEOR. Disponível em: <https://www.abiocat.com/about-us/> Acesso em 10 de janeiro de 2022.

ADVANCED ENERGY & ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES. Site da Advanced Energy & Environmental Technologies. Empresa de Tecnologia e Energia. Disponível em: <http://aee-t.com/angyitai/index.php/index/index/about.html> Acesso em 11 de janeiro de 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Regulamento Técnico ANP No 3/2015.** Rio de Janeiro, 2015

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis: 2021.** Rio de Janeiro, 2021-a

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Boletim da Produção de Petróleo e Gás Natural: Dezembro/2021.** Rio de Janeiro, 2021-b

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Exploração e Produção de Óleo e Gás.** 2020.

AKINTUNJI F.; MARCOTTE B.; SHEEHY A.; GOVREAU B. **A Texas MEOR Application Shows Outstanding Production Improvement Due To Oil Release Effects On Relative Permeability.** Society of Petroleum Engineers, 2012

AL-BAHRY, S.N.; AL-WAHAIBI, Y.M.; ELSHAFIE, A.E.; AL-BEMANI, A.S.; JOSHI, S.J.; AL-AKHMARI, H.S.; AL-SULAIMANI, H.S. **Biosurfactant production by *Bacillus subtilis* B20 using date molasses and its possible application in enhanced oil recovery.** Int. Biodeterior. Biodegrad. 2013, n. 81, p. 141–146.

AL-GHOUTI, M. A.; AL-KAABI, M. A.; ASHFAQ, M. Y.; DA'NA, D. A. **Produced water characteristics, treatment and reuse: A review.** Journal of Water Process Engineering, n. 28, p. 222–239. 2019

AL-SALIM, H. S., & KELECHUKWU, E. M. **Improving Oil Recovery through Microbial Enhanced Technique: The future and challenges,** 2012.

AL-SULAIMANI, H. et al. **Microbial biotechnology for enhancing oil recovery: Current developments and future prospects.** Biotechnology, Bioinformatics and Bioengineering, v. 1, n. 2, p. 147–158, 2011.

AL-WAHAIBI, Y. JOSHI, S., AL-BAHRY, S., ELSHAFIE, A., AL-BEMANI, A., SHIBULAL, B. (2014). **Biosurfactant production by *Bacillus subtilis* B30 and its**

application in enhancing oil recovery. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, v. 114, p. 324–333. doi:10.1016/j.colsurfb, 2013.

ALBUQUERQUE, E. M. **Idéias Fundadoras - apresentação: "The 'National System of Innovation' in Historical Perspective" de Christopher Freeman.** *Revista Brasileira de Inovação*, v. 3, n. 1, p. 9-34, jan./jun., 2004. Disponível em <<http://www.ige.unicamp.br/ojs/index.php/rbi/article/view/264/180#.UpoQU8Trw08>>. Acesso em 18 de nov de 2013.

ALMEIDA, P. F. et al. **Selection and application of microorganisms to improve oil recovery.** *Engineering in Life Sciences*, v. 4, n. 4, p. 319–325, 2004.

ALMEIDA, P.; SOUZA, E. **Desenvolvimento e aplicação de processos biotecnológicos *in situ* para a recuperação de petróleo em campos maduros.** *In: RIO OIL & GAS EXPO AND CONFERENCE. Anais.* 2010, Rio de Janeiro.

ALTHALB, Hakima A.; ELMUSRATI, Izzeddin M.; BANAT, Ibrahim M. **A Novel Approach to Enhance Crude Oil Recovery Ratio Using Selected Bacterial Species.** *Appl. Sci.* 2021, 11, 10492

ANDRADE, Cristiano José de.; PASTORE, Gláucia Maria. **Comparative study on microbial enhanced oil recovery using mannoserithritol lipids and surfactin.** *International Journal of Scientific World*, v. 4, n. 2, p. 69-77, 2016.

ANDRADE, J. C. S. **Desenvolvimento sustentado e competitividade: tipos de estratégias ambientais empresariais.** *In: TECBAHIA: Revista Baiana de Tecnologia*, v. 12, n. 2, p. 71-86, maio/ago. 1997.

ANDRADE, R.L.; REGO, L.C. (2015). **A influência da rede de coautoria no nível das bolsas de produtividade da área de engenharia de produção.** *In: IV Brazilian Workshop On Social Network Analysis And Mining (BraSNAM), 2015, Recife. Anais...* Recife, 2015.

ARMENTA, M., **Coal, Cash, Cars, and Trees: Cliff-Notes From the Glasgow Climate Summit.** *Chicago Policy Review.* 2022.

ARMSTRONG, Ryan T.; WILDENSCHILD, Dorthe. Investigating the pore-scale mechanisms of microbial enhanced oil recovery. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 94-95 (2012) 155–163.

ASHFORD N.A. **An Innovation-Based Strategy for a Sustainable Environment** Published in *Innovation-Oriented Environmental Regulation: Theoretical Approach and Empirical Analysis*, J. Hemmelskamp, K. Rennings, F. Leone (Eds.) ZEW Economic Studies. New York, 2000.

ASHIMA K.; SHAIVYA S.; SRISHTI B.; MUDITA S.; JAGADEESHWAR K. **Overview and methods in Enhanced Oil Recovery.** *Journal of Physics: Conference Series*, V. 2070, India, 2021

ASTUTI, Dea Indriani; PURWASENA Isty Adhitya; PUTRI, Ratna Eka; AMANIYAH, Maghfirotul; SUGAI, Yuichi. (2019). **Screening and characterization of biosurfactant**

produced by Pseudoxanthomonas sp. G3 and its applicability for enhanced oil recovery. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, n.9, p. 2279–2289. DOI 10.1007/s13202-019-0619-8. Acesso em 26 de setembro de 2020.

AWAN, A.R., TEIGLAND, R., KLEPPE, J.; 2008. **A survey of North Sea enhanced-oil-recovery projects initiated during the years 1975 to 2005.** SPE Reservoir Eval. Eng. 11, 497e512. <https://doi.org/10.2118/99546-PA>

BANAT, I. M. **Biosurfactants Production and Possible Uses in Microbial Enhanced Oil Recovery and Oil Pollution Remediation.** A review, Bioresource Technology, v. 51, n. 1, 1995, p. 1-12. doi:10.1016/0960-8524(94)00101-6.

BANAT, I. M., Franzetti, A., Gandolfi, I., Bestetti, G., Martinotti, M. G., Fracchia, L., et al. **Microbial biosurfactants production, applications and future potential.** Appl. Microbiol. Biotechnol. v. 87, p. 427–444, 2010. doi: 10.1007/s00253-010- 2589-0.

BANAT, I., Makkar, R., Cameotra, S. **Potential commercial applications of microbial surfactants.** Appl Microbiol Biotechnol v. 53, p. 495–508, 2000. <https://doi.org/10.1007/s002530051648>.

BARABASI, A. L. **Network Science.** Phil. Trans. R. Soc. A, London, n. 371, 20120375, 18 Feb. 2013. Disponível em: <http://barabasi.com/f/423.pdf>. Acesso em 20 de jul. de 2018.

BARABASI, A. L.; Pósfai, M. **Network Science.** Reino Unido: Cambridge University Press, 2016.

BARABASI, A. L.; ALBERT, R. **Emergence of scaling in random networks.** Science, EUA, v. 286, p. 509-512, 1999.

BARABÁSI, A. L. **Linked: How everything is connected to everything else and what it means for business, science and everyday life.** Plume. 2003.

BARROS, E. V. **Matriz Energética Mundial e a Competitividade das Nações: bases de uma nova geopolítica,** ENGEVISTA, v. 9, n. 1, p. 47-56, 2007.

BECKMAN J.W. **The Action of Bacteria on Mineral Oil.** Industrial Engineering Chemistry, News Ed. 1926, v. 4, n.3.

BERG, R.; BOURS, D.; BROUSSELLE, A.; ČEKAN, J.; CHAPLOWE, S.; CHELIMSKY, E.; DAVIES, I.; FELCIS, W.; LEITER T.; MENEZES, D.; PICCIOTTO, R.; ROGERS, P.; ROWE, A.; UITTO, J. **What should evaluation learn from COP 26? Views of evaluation practitioners.** Evaluation Journals Sage. Vol. 28(1) 7–35. 2022.

BIONDI, L.; GALLI, R. **Technological trajectories.** Futures, Reino Unido, v. 24, n. 6, p. 580-592, Jul./Aug. 1992.

BITTENCOURT, Pablo F., CARIO, Silvio A. F. **O Conceito De Sistema Nacional De Inovação: das raízes históricas à análise global contemporânea.** XXI Encontro Nacional De Economia Política – A Economia Política da Recessão, São Bernardo do Campo: SP, 2016.

BRANDES, Ulrik; FREEMAN, Linton C.; WAGNER, Dorothea. **Social Networks**. In: Handbook of graph drawing visualization (2013): 805.839

BRASIL. **Lei 9.279/96: Regula direitos e obrigações relativos à propriedade industrial** (1996).

BRASIL. **Lei 9.478/97: Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências.** (1997)

BRASIL. **Lei 12.276/2010: autoriza a união a ceder onerosamente à Petróleo Brasileiro S.A. - PETROBRAS o exercício das atividades de pesquisa e lavra de petróleo, de gás natural e de outros hidrocarbonetos fluidos de que trata o inciso I do Art. 177 da Constituição Federal, e dá outras providências.** (2010)

BREM, A., NYLUND, P.A., and HITCHEN, E.L. (2017) **Open innovation and intellectual property rights: how do SMEs benefit from patents, industrial designs, trademarks and copyrights?** Management Decision, 2017, 1285–1306. <https://doi.org/10.1108/MD-04-2016-0223>.

BRITISH PETROLEUM. **BP Statistical Review of World Energy June 2018**. 67th edition. Reino Unido, 2020-a. Disponível em: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>. Acesso em 21 de set. de 2021.

BRITISH PETROLEUM. **Performing while Transforming: from IOC to IEC**. BP Annual Report and Form 20-F. Reino Unido, 2020-b.

BRITISH PETROLEUM. **BP Statistical Review of World Energy 2021**. 70th edition. Reino Unido, 2021. Disponível em: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>. Acesso em 2 de fev. de 2022.

BROWN, Lewis R. Current Opinion in Microbiology, 13:316–320. Elsevier, 2010.

BRYANT, R.S., STEPP, A.K., BERTUS, K.M. (1993) **Microbial Alteration of Wettability in OilWet Rock**. DOE Report. NIPER–618.

BRYANT, Steven L; LOCKHART, Thomas P. **Reservoir engineering analysis of microbial enhanced oil recovery**. SPE Reservoir Evaluation & Engineering, v. 5, n. 5, p. 365-374, 2002. doi.org/10.2118/79719-PA.

BWN VORTOIL. Site da BWN Vortoil. Empresa de Petrolífera. Disponível em: https://noelcarroll.co.uk/?page_id=7. Acesso em 11 de janeiro de 2022.

CASTRO; BRITO. **Gestão do Conhecimento: como as organizações públicas do Brasil percebem esse modelo?** Revista de Gestão Industrial, v. 12, n. 2. Curitiba, 2016.

CHOO, C. **A organização do conhecimento: como as organizações usam a informação para criar significado, construir conhecimento e tomar decisões.** São Paulo: Editora Senac, 2003.

CONCEIÇÃO, M. e SIMÕES, L. **Prospecção Tecnológica no Auxílio de P&D - Estudo da arte da área de MEOR.** Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia da Bahia, 2018.

DEBARRE, R.; FULOP, T.; LAJOIE, B. **Energy Perspectives: Consequences of COP21 for the Oil and Gas Industry.** Accenture Strategy, EUA, p. 1-19, 2016.

DOSI, G. **Technological paradigms and technological trajectories. A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change.** Research Policy, EUA, v. 11, p.147-162, 1982.

DOWNES, E. **Green Giants? China's National Oil Companies Prepare for the Energy Transition.** Columbia/SIPA Center on Global energy Policy, EUA, 2021.

DU, C., SONG, Y., YAO, Z., SU, W., ZHANG, G., WU, X. (2019). **Developments in in-situ microbial enhanced oil recovery in Shengli oilfield.** Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, n. 1–11. doi:10.1080/15567036.2019.1648603.

EQUINOR. Equinor Sustainability Report 2020.

ETZKOWITZ, Henry. **The Bi-Evolution Of The University In The Triple Helix Era.** Science Policy Institute, 2001.

ETZKOWITZ, Henry. **Innovation in innovation: The triple helix of university-industry-government relations.** Social science information 42.3 (2003): 293-337.

ETZKOWITZ, Henry, and CHUNYAN Zhou. **Hélice Tríplice: inovação e empreendedorismo universidade-indústria-governo.** Estudos avançados 31 (2017): 23-48.

FARAJZADEH, R.; KAHROBAEI, S.; EFTEKHARI, A. A.; MJENI, R. A.; BOERSMA, D.; BRUINING, J. **Chemical enhanced oil recovery and the dilemma of more and cleaner energy.** Scientific Reports. www.nature.com/scientificreports/. 2021.

FENG, Qing-xian; NI, Fang-tian; QIN, Bao-yan; MA, Xian-ping; JI, Cha-feng; WANG, Xiao-lin. **Review of MEOR technology application in Dagang oilfield for the last decade.** Society of Petroleum Engineers, 2006. doi:10.2118/100791-ms. (Paper 100791).

FIECHTER, A. **Biosurfactants: Moving towards industrial application.** Trends Biotechnol. 1992, v. 10, p. 208–217, 1992.

GEETHA, S.J.; BANAT, I. M.; JOSHI, S. J. **Biosurfactants: Production and potential applications in microbial enhanced oil recovery (MEOR).** Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 2018, p. 14, 23–32. doi:10.1016/j.bcab.2018.01.010.

GHAZALI ABD. KARIM, M., HJ SALIM, MAT ALI, MD. ZAIN, ZAHIDAH, AND NOOR NAZRI TALIB. **Microbial Enhanced Oil Recovery (MEOR) Technology in Bokor Field,**

Sarawak. Paper presented at the SPE Asia Pacific Improved Oil Recovery Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, October 2001. doi: <https://doi.org/10.2118/72125-MS>

GLORI ENERGY. Site da Glori Energy. Empresa de Tecnologia MEOR. Disponível em: www.GloriEnergy.com. Acesso em 10 de janeiro 2022.

GOEIP. Site da GOEIP. Empresa de Tecnologia. Disponível em: <http://www.goe-ip.com> Acesso em 13 de janeiro de 2022.

GOODMAN, Sean H. **Investigation into the Potential Application of Microbial Enhanced Oil Recovery on Unconventional Oil: A Field Specific Approach.** Thesis submitted in accordance with the requirements of the University of Liverpool for the degree of Doctor in Philosophy, 2017.

GRAY, M. R. et al. **Potential microbial enhanced oil recovery processes: A critical analysis.** SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Anais. 2008.

GRZEGORCZYK, Tomasz. **Managing intellectual property: Strategies for patent holders.** Journal of High Technology Management Research 31 (2020).

GROSS, J. T.; YELLEN, J. **Graph theory and its applications.** Boca Raton: CRC Press, 1999.

GUDIÑA, E. J., PEREIRA, J. F. B., RODRIGUES, L. R., COUTINHO, J. A. P., TEIXEIRA, J. A. (2012). **Isolation and study of microorganisms from oil samples for application in Microbial Enhanced Oil Recovery.** International Biodeterioration & Biodegradation, v. 68, p. 56–64. doi: 10.1016/j.ibiod.2012.01.001.

GUO H., LI Y., YIRAN Z., WANG F., WANG Y., YU Z., HAICHENG S., YUANYUAN G., CHUYI J., XIAN G. **Progress of microbial enhanced oil recovery in China.** Elsevier. 2015.

HELLER, P. R. P.; MIHALYI, D. **Massive and Misunderstood Data-Driven Insights into National Oil Companies.** Natural Resource Governance Institute. EUA, 2019.

HELLER, P. R. P.; KAUFMANN, D. **The National Oil Company Database.** Natural Resource Governance Institute. EUA, 2019.

HOICKA, C; SPERLING, D; LOWE, I; DOOLEY, K; TIENHAARA, K; FRANCÉS, M. A.; MASLIN, M.; FORSTER, P.; BOYDELL, B.; LEWIS, S. **COP 26 and the Glasgow Pact: a summary of achievements, and shortfalls.** 2021. Disponível em: <https://energypost.eu/cop26-and-the-glasgow-pact-a-summary-of-achievements-and-shortfalls/>

IHLEN, O. **The Oxymoron of ‘Sustainable Oil Production’: The Case of the Norwegian Oil Industry.** Business Strategy Environment, EUA, v. 18, p. 53-63, 2009.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **The Oil and Gas Industry in Energy Transitions Insights from IEA analysis.** EUA, 2020-a.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Outlook 2020**. EUA, 2020-b.

JEONG, Moon Sik; HONG, Eunji; LEE, Kun Sang. **Promising Biotechnology on Selective Plugging and Wettability Alteration for Enhanced Oil Recovery**. Advances in biotechnology and microbiology, California, United States, Juniper Publishers, v. 9, n. 2, May 2018. DOI: 10.19080/AIBM.2018.09.555757. ISSN: 2474-7637. Disponível em: <<https://juniperpublishers.com/aibm/pdf/AIBM.MS.ID.555757.pdf>>. Acesso em 12 de setembro de 2020.

KHAN, A. *et al.* **Overview and methods in Enhanced Oil Recovery**. Journal of Physics: Conference Series. 2021.

KHIRE, J.M. **Bacterial Biosurfactants, and Their Role in Microbial Enhanced Oil Recovery (MEOR)**. Biosurfactants, New York, EUA, 2010; v. 672; p. 146–157.

KHIRE, J. M.; KHAN, M. I.; **Microbially enhanced oil recovery (MEOR). Importance and mechanism of MEOR**. Enzyme Microbiology Technology, v.16, 1994.

KNAGGS, M.; RAMSEY, J.; UNIONE, A.; HARKREADER, D.; OELFKE, J.; KEAIRNS, D.; BENDER, W. **Application of systems readiness level methods in advanced fossil energy applications**, Procedia Computer Science, v. 44, p. 497-506, 2015

KRAEMER, M. E. P. **Contabilidade ambiental como sistema de informações**. Revista Pensar Contábil do Conselho Regional de Contabilidade do Estado do Rio de Janeiro. RJ: ano 3, n. 09, p.19-26, 2000.

KULOVIC, N. **New alliance launched at COP26 aims to set an end date for oil and gas production**. Offshore Energy. 2021.

LATAPY, M.; MAGNIEN, C.; DEL VECCHIO, N. **Basic notions for the analysis of large two-mode networks**. Social Networks, EUA, v. 30, n. 1, p 31-48, 2008.

LAZAR, I.; PETRISOR, I.G.; YEN, T.E. **Microbial Enhanced Oil Recovery (MEOR)**. Pet. Sci. Technol., 2007, n. 25, p. 1353-1366.

LEE, K. S.; Kwon, Tae-Hyuk; Park, Taehyung; Jeong, Moon Sik. **Theory and practice in Microbial Enhanced Oil Recovery**. Cambridge, MA: Elsevier, 2020.

LIBRARY OF CONGRESS, Oil and Gas Industry: A Research Guide. Acesso em 20 de fevereiro de 2022. Disponível em: <https://guides.loc.gov/oil-and-gas-industry/upstream>

LIEGSALZ, J.; STEFAN W. **Patent examination at the state intellectual property office in China**. Research Policy 42.2 (2013): 552-563.

LUNDEVALL, Bengt-Åke. **National Innovation Systems - Analytical Concept And Development Tool**. Industry and innovation 14.1 (2007): 95-119.

MAÇANEIRO, M. B.; CUNHA, S. K.; KUHL, M. R.; CUNHA, J. C. **A Regulamentação Ambiental Conduzindo Estratégias Ecoinovativas na Indústria de Papel e Celulose.** RAC, v. 19, n. 1, Rio de Janeiro, 2015, p. 65-83.

MALERBA, Franco. **Sectoral Systems and Innovation and Technology Policy.** *Revista Brasileira de Inovação.* Volume 2, n. 2, 2003.

MANKINS, J. C., **Technology Readiness Levels, Office of Space Access and Technology NASA, USA, 1995.** Disponível em <http://aries.ucsd.edu/ARIES/WDOCS/ARIES07/trl.pdf>

MARCOTTE B.; GOVREAU B.; DAVIS P. **MEOR finds oil where it has already been discovered.** *E&PA Hart Energy Publication/ Global Exploration & Production News*, 2009.

MARQUES, R. M. **Contribuições à crítica da propriedade intelectual - Tendências da Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação**, v. 7, n. 2, 2014. Disponível em: <http://basessibi.c3sl.ufpr.br/brapci/v/a/17419>. Acesso em: 02 de ago de 2017.

MATTOS, J.; GUIMARÃES, L. **Gestão da Tecnologia.** São Paulo: Saraiva, 2005.

MAURE, A.; DIETRICH, F.; GOMEZ, U.; VALLESI, J.; IRUSTA, M. **Waterflooding Optimization Using Biotechnology: 2-Year Field Test, La Ventana Field, Argentina.** *SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference*, 2001. doi:10.2118/69652-ms.

MAURE, A.; SALDANA A. A.; JUAREZ, A. R. **Biotechnology Applications to EOR in Talara Off-shore Oil Fields, Northwest Peru.** *SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference.* OnePetro, 2005.

MCINERNEY Michael J., NAGLE David P., KNAPP Roy M. (2005). **Microbially enhanced oil recovery: Past, present, and future.** In: OLIVIER, Bernard; MAGOT, Michel. *Petroleum Microbiology*, p.215-237. Washington, DC: ASM Press. doi:10.1128/9781555817589.ch11.

METZ, B., DAVIDSON, O., BOSCH, P., DAVE, R., & MEYER, **Climate change 2007-mitigation of climate change.** Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva (Switzerland). Working Group III. 2007.

MILES, R. E.; SNOW, C. C.; MEYER, A. D.; COLEMAN-JR, H. J. **Organizational Strategy, Structure, and Process.** *Academy of Management Review.* Vol. 3, n. 3, Articles. 1978.

MORESI, E. A. D; BARBOSA, J. A.; BRAGA F., M. O. **Modelos para analisar níveis de prontidão de inovação.** *In: Sétima Conferencia Ibero-americana de Complexidade, Informática y Cibernética (CICIC 2017). Memorias.* 2017.

MOSAICO FLUIDO PESQUISA E INOVAÇÃO. Site da Mosaico Fluido Pesquisa e Inovação. Spin off dedicada à Pesquisa e Inovação. Disponível em: www.mosaicofluidopi.com.br. Acesso em 20 de setembro de 2022.

NAGASES, K; ZHANG, ST; ASAMI, H; FUJIWARA, K; ENOMOTO, H; HONG, CX; LIANG, CX. A successful field test of microbial EOR process in Fuyu Oilfield, China. **SPE/DOE Improved Oil Recovery Symposium**, 2002. doi:10.2118/75238-ms.

NEWMAN, M. (2010) **Networks: An Introduction**. Oxford University Press, Oxford. <http://dx.doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199206650.001.0001>

NIKOLOVA, C.; GUTIERREZ, T. **Use of Microorganisms in the Recovery of Oil From Recalcitrant Oil Reservoirs: Current State of Knowledge, Technological Advances and Future Perspectives**. *Frontiers in microbiology* v. 10 2996. 2020. doi:10.3389/fmicb.2019.02996.

NNAEMEKA O.; FRANKLIN N.; STANLEY O. **A Review Paper on Microbial Enhanced Oil Recovery Applications Projects**, Transylvanian Review, Vol 26, n. 32, 2018.

NWIDEE, L. N., THEOPHILUS, S., BARIFCANI, A., SARMADIVALEH, M., IGLAUER, S. (2016). **EOR Processes, Opportunities and Technological Advancements. Chemical Enhanced Oil Recovery (cEOR) - a Practical Overview**. p.4-52. doi:10.5772/64828.

ONU/NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Guia para a COP26: O que é preciso saber sobre o maior evento climático do mundo**. 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/156377-guia-para-cop26-o-que-e-preciso-saber-sobre-o-maior-evento-climatico-do-mundo>. Acesso em 10 de janeiro de 2022.

OMONIYI, O. A.; ABDULMALIK, F. **A review of microbial enhanced oil recovery: Current development and future prospects**. International Journal of Scientific & Engineering Research, v. 6, n. 1, p. 1378-1389, 2015.

ORTIZ NETO, J. B.; SHIMA, W. T. **Trajetórias tecnológicas no segmento offshore: ambiente e oportunidades**. Rev. Econ. Contemp., Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 301-332, maio/ago. 2008.

OSUNDE, J. E.; BALOGUN, S. A. (2013). **Micro-Organisms in Enhanced Oil Recovery. Ife Journal of Science**, v. 15, n. 3, P. 617-630. Disponível em: <<https://www.ajol.info/index.php/ij/s/article/view/131590>>. Acesso em 09 de setembro de 2020.

PATEL, J., BORGHAIN, S., KUMAR, M., RANGARAJAN, V., SOMASUNDARAN, P., Sen, R. (2015). **Recent developments in microbial enhanced oil recovery. Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, December 2015, Pages 1539-1558. doi:10.1016/j.rser.2015.07.135. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032115007820>>. Acesso em 22 de julho de 2020.

PINHO, A. K. J.; LIMA, A. L. R.; SOUZA, C. J.; RAMOS-DE-SOUZA, E.; CUNHA, N. M. C.; BARAN, P. H. **Desenvolvimentos tecnológicos em recuperação avançada de petróleo**. Anais da Rio Oil & Gas Expo and Conference, Editora IBP, Rio de Janeiro. 2016.

PORTWOOD, J.T. **A Commercial Microbial Enhanced Oil Recovery Technology: Evaluation of 322 Projects**. Paper presented at the SPE Production Operations Symposium, Oklahoma City, Oklahoma, April 1995. doi: <https://doi.org/10.2118/29518-MS>.

PETROGAL; IFBA; UFBA. Projeto de Pesquisa Petrogal/IFBA/UFBA. 2015.

PETROGAL; IFBA; UFBA. Relatório Final do Projeto PETROGAL/IFBA/UFBA. 2021.

QUINN, J. B.; BARUCH, J. S.; ANNE Z. K. **Innovation Explosion**. The Free Press, New York, 1997.

RAMOS-DE-SOUZA, ELIAS; PINHO, ALICE K.J.; REGUEIRA, K.W.S. **Portfólio De Patentes Das 10 Maiores Empresas De Energia Do Mundo**. Rio Oil & Gas Expo and Conference. 2014.

RAMOS-DE-SOUZA, E.; MAHL, A. A. **A criação do conhecimento em sistemas regionais de inovação**. In: MESSEDER, S. A.; CAMBUI, E. C. B. (org.). *Analista cognitivo: uma profissão interdisciplinar*. Salvador: EDUFBA, 2019. p. 129-146.

RAMOS-DE-SOUZA, RODRIGUES, P. D., SAMPAIO, I. C., BACIC, E., CRUGEIRA, P. J., VASCONCELOS, A. C. **Xanthan gum produced by Xanthomonas campestris using produced water and crude glycerin as an environmentally friendlier agent to enhance oil recovery**. Fuel, v. 310, p. 122421, 2022.

ROSA, M. G. **Modelo empírico para analisar a robustez de redes semânticas**. 2016. Tese (Doutorado Multidisciplinar e Multi-institucional em Difusão do Conhecimento) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2016.

SARAFZADEH, P.; A. Niazi, V. Oboodi, M. Ravanbakhsh, A. Zeinolabedini Hezave, S. S. Ayatollahi; RAEISSI, S. **Investigating the efficiency of MEOR processes using Enterobacter cloacae and Bacillus stearothermophilus SUCPM#14 (biosurfactant-producing strains) in carbonated reservoirs**. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2014, n.113, p. 46 -53. doi:10.1016/j.petrol.2013.11.029.

SAFDEL, M.; ANBAZ, A.D.; JAMIALAHMADI, M. **Microbial enhanced oil recovery, a critical review on worldwide implemented field trials in different countries**. Renewable Sustainable Energy Reviews, EUA, v. 74, p. 159-172, 2017.

SAFDEL, M.; ANBAZ, M.A.; DARYASAFAR, A.; JAMIALAHMADI, M. **Microbial enhanced oil recovery, a critical review on worldwide implemented field trials in different countries**. Renew. Sustain. Energy Rev., 2017, v. 74, p. 159-172. doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.045.

SAIKIA, B.R.U.; VENDHAN, E.; SANTOSH, K.Y.; SHANKAR, S.S. **A Brief review on the science, mechanism and environmental constraints of microbial enhanced oil recovery (MEOR)**. International Journal of ChemTech Research. v. 5, n. 3, p. 1205-1212, 2013.

SEGOVIA G.C.; Huerta V.A.; Gutierrez G.C. Improving MEOR Performance by a Selection Methodology in Mature Oilfields. **Society of Petroleum Engineers**, 2009.

SEN, R. (2008) **Biotechnology in petroleum recovery: the microbial EOR**. Progress in Energy and Combustion Science, v. 34, n. 6, p. 714–724.

SHARMA, S.; ARAGÓN-CORREA, J. A.; RUEDA-MANZANARES, A. **The contingent influence of organizational capabilities on proactive environmental strategy in the service sector: an analysis of North American and European Ski Resorts**. Canadian Journal of Administrative Sciences, Revue canadienne des sciences de l'administration, 24, p. 268–283. 2007.

SHARMA, Sanjay; PABLO, Amy L.; VREDENBURG, Harrie. **Corporate Environmental Responsiveness Strategies: The Importance of Issue Interpretation and Organizational Context**. The Journal of Applied Behavioral Science, V. 35 N. 1, p. 87-108. NTL Institute. 1999.

SHE, H., KONG, D., LI, Y., HU, Z., & GUO, H. **Recent advance of microbial enhanced oil recovery (MEOR) in China**. Geofluids, v. 2019, 2019.

SHIBULAL, B., AL-BAHRY, S. N., AL-WAHAIBI, Y. M., ELSHAFIE, A. E., AL-BEMANI, A. S., JOSHI, S. J. (2014). **Microbial Enhanced Heavy Oil Recovery by the Aid of Inhabitant Spore-Forming Bacteria: An Insight Review**. The Scientific World Journal, 2014, 1–12. doi:10.1155/2014/309159

SIMÕES, L. S.; RAMOS-DE-SOUZA, E.; ALMEIDA, P. F. **Prospecção Tecnológica na Área de Recuperação Avançada de Petróleo por Ação Microbiana**. Cadernos De Prospecção, 12(2), 301. (2019). <https://doi.org/10.9771/cp.v12i2.27304>

SOFTWARE GEPHI 0.9.2. Paris, 2019. Disponível em: <http://gephi.org.br>. Acesso em: 25 ago. 2018.

SONG, Y., DU, C., YAO, Z., SU, W., ZHANG, G., WU, X. (2019). **Developments in in-situ microbial enhanced oil recovery in Shengli oilfield**. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, n. 1–11. doi:10.1080/15567036.2019.1648603.

SOUZA, Q. R.; QUANDT, C. O. **Metodologia de Análise de Redes Sociais**. In: DUARTE, F.; QUANDT, C. O.; SOUZA, Q. R. (Org.). O Tempo das Redes. São Paulo: Perspectiva, 2008, p. 31-63.

STATOIL, **Statoil Annual Report 20f 2017**. 2017.

STEPP, A.K., BRYANT, R.S., BERTUS, K.M. (1992) **Microbial Alteration of Wettability in OilWet Rock**. DOE Report. NIPER–618.

STRAPPA L.A., DE LUCIA J.P., MAURE M.A., LOPEZ LLOPIZ M.L. **A novel and successful MEOR pilot project in a strong water-drive reservoir Vizcacheras Field, Argentina**. Elsevier. 2004.

SUNDE, E. BEEDER, J., NILSEN, R. K., & TORSVIK, T. **Aerobic microbial enhanced oil recovery for offshore use**. In: SPE/DOE Enhanced Oil Recovery Symposium. OnePetro, 1992.

TERRY, E. R. *Enhanced Oil Recovery*. In: MAYERS, A. R. (ed.) **Encyclopedia of Physical Science and Technology**, Vol.18, 3rd edition. San Diego: Academic press, p. 503-518, 2001.

TIGRE, P. B. **Gestão da Inovação: A Economia da Tecnologia no Brasil**. Elsevier, 2006.

TITAN OIL RECOVERY. Site da Titan Oil Recovery. Empresa de Tecnologia MEOR. Disponível em: <https://titanoilrecovery.com> Acesso em 13 de janeiro de 2022.

TOMAÉL, M. I., & MARTELETO, R. M. **Redes sociais de dois modos: aspectos conceituais**. *Transinformação*, v. 25, p. 245-253, 2013.

TREVISAN, L.C.; DAMIAN, I.P.M. Gestão do conhecimento: diretrizes e práticas recomendadas às organizações. *Ci.Inf.*, Brasília, DF, v.47 n.2, p.21-34, maio/ago. 2018

UNIÃO EUROPEIA (UE). **Livro Verde de Inovação**, UE, 1995.

VARGAS, E.; ZAWISLAK, P. **Inovação em serviços no paradigma da economia do aprendizado: a pertinência de uma dimensão espacial na abordagem dos sistemas de inovação**. *Rev. Adm. Contemp.*, Curitiba, v. 10, n. 1, p. 139-159, 2006.

VELHO, S.R. K; SIMONETTI, M. L.; SOUZA, C. R. P.; IKEGAMI, M. Y., **Nível de Maturidade Tecnológica: uma sistemática para ordenar tecnologias**. *Parcerias Estratégicas*, Brasília, v. 22, n. 45, p. 119-140, 2017.

VOLK, H.; LIU, K. **3^o Oil Recovery: experiences and economics of Microbially Enhanced Oil Recovery (MEOR)**. In: TIMMIS, K. N. (ed.), *Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2010, p. 2740-2751. doi 10.1007/978-3-540-77587-4_203.

VOLK, H.; HENDRY, P. **Recovery: Fundamental Approaches and Principles of Microbially Enhanced Oil Recovery**. In: *Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2010, p. 2727–2738. doi:10.1007/978-3-540-77587-4_202.

WATTS, D.; STROGATZ, S. **The small world problem**. *Collective Dynamics of Small-World Networks*, v. 393, p. 440-442, 1998.

WEST, JOEL; SALTER, AMMON; VANHAVERBEKE, WIM; CHESBROUGH, HENRY. **Open innovation: The next decade**. *Research Policy* 43 (2014) 805–811.

World Intellectual Property Organization (WIPO). **What is intellectual property?** 2020.

World Intellectual Property Organization (WIPO). **Patent Cooperation Treaty Yearly Review**. 2021.

WOOD, D.A. **Microbial improved and enhanced oil recovery (MIEOR): Review of a set of technologies diversifying their applications**. *Advances in Geo-Energy Research*, 2019, 3(2): 122-140, doi: 10.26804/ager.2019.02.02.

XIA, W.-J., Dong, H.-P., Yu, L. and Yu, D.-F. (2011). **Comparative study of biosurfactant produced by microorganisms isolated from formation water of petroleum reservoir.** *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 392, n.1, p. 124-13.

XIA, W. J., LUO, Z. B., DONG, H. P., YU, L. (2013). **Studies of Biosurfactant for Microbial Enhanced Oil Recovery by Using Bacteria Isolated from the Formation Water of a Petroleum Reservoir.** *Petroleum Science and Technology*, v. 31, n. 21, p. 2311–2317. doi:10.1080/10916466.2011.569812

YERNAZAROVA, A.; KAYIRMANOVA, G.; BAUBEKOVA, A.; ZPOLOANOVA, A. (2016). *Microbial Enhanced Oil Recovery*. DOI: 10.5772/64805. In: ROMERO-ZERÓN, Laura (Ed.). **Chemical Enhanced Oil Recovery (cEOR): a Practical Overview. Cap. 5. p.147-167.** ISBN: 978-953-51-4171-6. DOI: 10.5772/61394. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/introduction-to-enhanced-oil-recovery-eor-processes-and-bioremediation-of-oil-contaminated-sites/enhanced-oil-recovery-in-fractured-reservoirs>>. Acesso em 12 de setembro de 2020.

YONEBAYASHI, Hideharu; YOSHIDA, Shinichiro; ONO, Kenji; ENOMOTO, Heiji. **Screening of Microorganisms for Microbial Enhanced Oil Recovery Processes.** *Sekiyu Gakkaishi*, v. 43, n. 1, p. 59-69, 2000.

ZAHNER Zahner B., Sheehy A., Govreau B. **MEOR success in Southern California.** Elsevier, 2010.

ZFA TECH. Site da Zfa Tech. Empresa de Tecnologia. Disponível em: <http://www.zfatech.com/index.php/en/project-2/overview.html> . Acesso em 11 de janeiro de 2022.

ZOBELL, C.E., (1946). **Bacteriological process for treatment of fluid-bearing earth formations.** Estados Unidos da América, US Patent 2413278.

ZOBELL, C.E. **Bacterial release of oil from oil-bearing materials.** *World Oil*. n. 26, p. 36-47, 1947.