



Petrobras: locomotiva da pesquisa, desenvolvimento e inovação nacional em Indústria 4.0¹

Resumo: O objetivo desse trabalho é reforçar a ideia de como a Petrobras atua de forma a fomentar a pesquisa e desenvolvimento na dimensão das tecnologias pertencentes à ideia de Indústria 4.0. Desta forma, a pesquisa conduz um mapeamento das relações da empresa com diferentes atores de um sistema de inovação, a fim de enfatizar o papel central da empresa em expandir a oferta de soluções tecnológicas e fomentar o desenvolvimento dessa cadeia. Com essa finalidade, o trabalho se divide em três pilares: envolvimento da empresa com o processo de depósito de patentes diante dados extraídos do INPI; vinculação aos projetos de PD&I associados às tecnologias emergentes do conceito de Indústria 4.0 por meio de dados da ANP; apresentação de dois estudos de caso que reforçam a existência de intensidade tecnológica no setor e a capacidade da empresa em estabelecer estruturas colaborativas com atores do ambiente produtivo e científico. Os resultados indicam que a Petrobras assume a vanguarda da produção de invenções nacionais ao estabelecer relacionamentos com os mais diferentes atores de um sistema nacional de inovação. Além disso, o protagonismo se transfere para a conjuntura de tecnologias associadas ao conceito de Indústria 4.0 no setor, onde os dados acessados demonstram como a empresa carrega o maior número de projetos. Por fim, o robô Annelida e o projeto Libra 4.0 enaltecem os benefícios associados não somente ao emprego dessas tecnologias, mas toda a cadeia de relacionamentos que são estabelecidos com diferentes empresas e agentes de pesquisa.

Palavras-chave: Petrobras; Pesquisa e desenvolvimento; Indústria 4.0; Sistema de inovação.

Código JEL: L50; L60.

Área Temática: 1.6.

¹ Marcelo Castelhana Lopes, 4P/UFPR - marcelolopescl@gmail.com; Walter Tadahiro Shima, 4P/UFPR - waltershima@ufpr.br

Petrobras: the powerhouse of Brazil's research, development, and innovation in Industry 4.0

Abstract: The objective of this work is to reinforce the idea of how Petrobras acts to foster research and development within the scope of Industry 4.0 technologies. Thus, the research conducts a mapping of the company's relationships with different actors in an innovation system to emphasize its central role in expanding the supply of technological solutions and fostering the development of this chain. To this end, the work is divided into three pillars: the company's involvement in the patent filing process based on data extracted from the INPI; its connection to R&D projects associated with emerging Industry 4.0 technologies using ANP data; and the presentation of two case studies that reinforce the existence of technological intensity in the sector and the company's capacity to establish collaborative structures with actors from the productive and scientific environments. The results indicate that Petrobras is at the forefront of national invention production by establishing relationships with a wide range of actors within a national innovation system. Furthermore, this leadership extends to the context of technologies associated with the Industry 4.0 concept in the sector, where the accessed data demonstrates that the company holds the largest number of projects. Finally, the Annelida robot and the Libra 4.0 project highlight the benefits associated not only with the employment of these technologies but also with the entire chain of relationships established with different companies and research agents.

Keywords: Petrobras; Research and development; Industry 4.0; Innovation system.

1. Introdução.

O objetivo deste trabalho é reforçar a argumentação a respeito da atuação da Petrobras no país, indo além da produção e refino, destacando como a empresa tem atuado como uma locomotiva do processo de PD&I, vinculando diferentes atores nacionais, impulsionando o sistema de inovação e contribuindo com o desenvolvimento de novas soluções viabilizadas pelas tecnologias pertencentes à matriz tecnológica do tema de I4.0. Desta forma, duas perguntas centrais norteiam as discussões propostas no decorrer do trabalho: Qual é o papel da empresa dentro do processo de invenções nacionais? Como a empresa tem tratado a emergência de novas soluções tecnológicas na era da I4.0? Além disso, dois casos de sucesso são apresentados a fim de reforçar a ideia de coordenação e intensidade tecnológica presente no setor.

A justificativa deste trabalho busca identificar como a empresa tem se relacionado com o processo de pesquisa, invenção, inovação e promoção das novas tecnologias no país. Desta forma, entende-se que a empresa possui um papel central em expandir a oferta de soluções tecnológicas, na mesma medida em que incentiva a inserção de diferentes atores nacionais que possam contribuir de forma complementar e, em paralelo, desenvolver a infraestrutura interna de PD&I por meio de efeitos de transbordamento resultantes de cada iniciativa.

Sendo assim, este trabalho é dividido em três seções. Na primeira, é apresentado o envolvimento da empresa com o processo de depósito de patentes perante dados extraídos do INPI, buscando identificar as diferentes redes colaborativas estabelecidas. Na sequência, dados da ANP apoiam a identificação do envolvimento da Petrobras com projetos de PD&I vinculados às tecnologias emergentes do conceito de I4.0, também identificando as diferentes redes de relacionamento construídas pela empresa. Por fim, buscando destacar os resultados desse ambiente, são apresentados dois estudos de caso que reforçam a existência de intensidade tecnológica no setor e a capacidade da Petrobras em estabelecer estruturas colaborativas com atores do ambiente produtivo e científico.

2. Metodologia.

Essa pesquisa realiza a exposição dos dados que reforçam a importância da Petrobras no processo inovativo brasileiro, tendo em vista a centralidade da empresa frente ao processo de depósito de patentes e, além disso, o comprometimento com pesquisas vinculadas às novas tecnologias integrantes do conceito de I4.0.

Para o primeiro ponto, com foco no processo de patenteamento das invenções, a pesquisa busca replicar as análises realizadas por Bazzo e Porto (2013). Para isso, dados foram extraídos da base do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). A partir da lista de depósitos de patentes, foram selecionados apenas os pedidos vinculados a entidades brasileiras de natureza jurídica, limitando o total a 83.162 pedidos desde o ano 2000. Em seguida, os pedidos foram concentrados naqueles vinculados às empresas da Petrobras, abrangendo desde a matriz até o centro de pesquisa da companhia, resultando em 1.516 depósitos. Por fim, foi também avaliado o processo de coautoria com diferentes entidades jurídicas que variam entre empresas, universidades e institutos de pesquisa, sendo realizado um mapeamento das redes existentes nesse sistema. Assim, foi novamente apresentado e reforçado o comprometimento da Petrobras na atuação como locomotiva do processo inovativo nacional.

Na sequência, a base de dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis do Brasil (ANP) é acessada com base nos diferentes projetos encomendados pela agência, diante da sua responsabilidade de promover a pesquisa e adoção de novas tecnologias estabelecida por meio da Lei nº 9.478/1997. Essa obrigação se reflete em um requerimento contratual para os projetos de exploração, desenvolvimento e produção, onde as empresas devem investir 1% da receita bruta nos campos com participação especial e de 0,5% a 1% nos demais blocos. Tal prática é orientada pela resolução nº 918 de março de 2023. A fim de dar transparência ao requerimento, a agência disponibiliza uma lista que contém os 4.230 projetos iniciados até julho de 2024, trazendo uma série de informações relacionadas aos objetivos, responsabilização, execução, qualificação e valor de cláusula para cada um.

A partir desses dados, uma leitura dos títulos e objetivos permitiu a discriminação de 622 projetos

potencialmente vinculados à temática de I4.0, viabilizando uma especificação adicional a partir da identificação de palavras-chave nos objetivos, que pudessem distribuir o foco entre pesquisas relacionadas aos temas de inteligência artificial, aprendizado de máquina, robótica, computação em nuvem, blockchain e big data. Por fim, essa construção viabilizou a identificação das diferentes redes colaborativas iniciadas pela Petrobras em território nacional, com a participação de universidades, empresas e institutos de pesquisa, o que formaliza o sistema de inovação no setor de petróleo e gás.

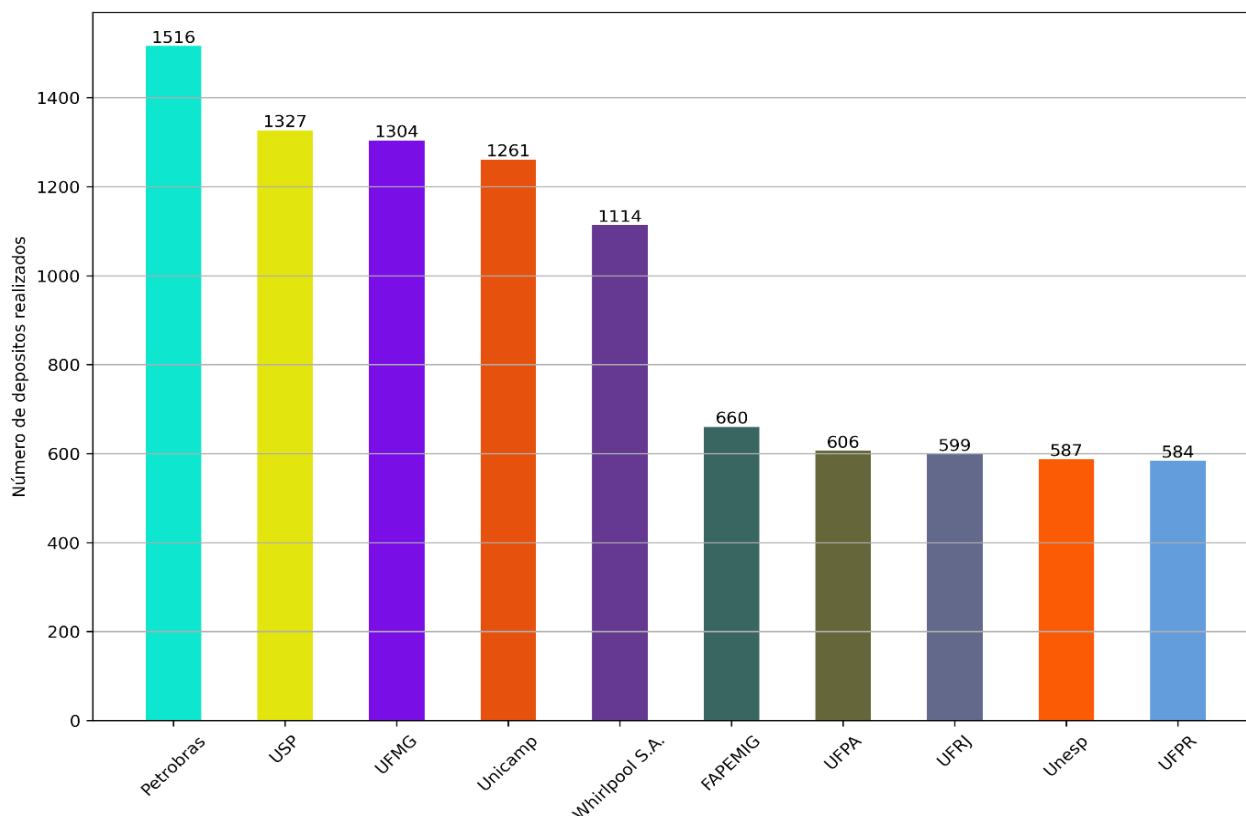
Por fim, a última seção apresenta dois estudos de caso de projetos extraídos da base da ANP, que trazem informações que elucidam as operações promovidas pela Petrobras. Desse modo, o projeto do robô Annelida viabilizou a exposição de redes colaborativas por meio de artigos acessados na internet, enquanto o projeto Libra 4.0 foi avaliado a partir de um podcast em que diferentes atores do projeto dialogam a respeito das motivações, barreiras e operacionalização da rede colaborativa formada por diferentes empresas multinacionais atuantes no setor

3. Protagonismo da Petrobras frente ao depósito de patentes em ambiente nacional.

Nesta seção, pretende-se identificar as funções da Petrobras no processo de depósito de patentes em território nacional, não limitado aos processos de autoria individual, mas principalmente naqueles em que a empresa se estabeleceu em processo colaborativo com outras empresas, universidades e institutos de pesquisa. Sendo assim, justifica-se essa abordagem diante do desejo de identificar na firma um papel crítico na construção de relações simbióticas com os mais diversos atores de um sistema nacional de inovação. Nessa linha, dados extraídos do INPI foram cruciais para identificar a relevância da empresa no ambiente nacional, as coautorias e os principais núcleos de relacionamento.

Tendo em vista a justificativa da seção, o objetivo do Gráfico 1 é o de demonstrar como a Petrobras se sobressai no ambiente inventivo nacional frente aos demais atores da infraestrutura científica do país, tendo em vista que expõe o número de depósito de patentes associados ao CNPJ básico de cada instituição desde o ano 2000.

Gráfico 1 - Número de depósitos de patentes realizados pelos 10 maiores depositantes entre 2000 e 2023.



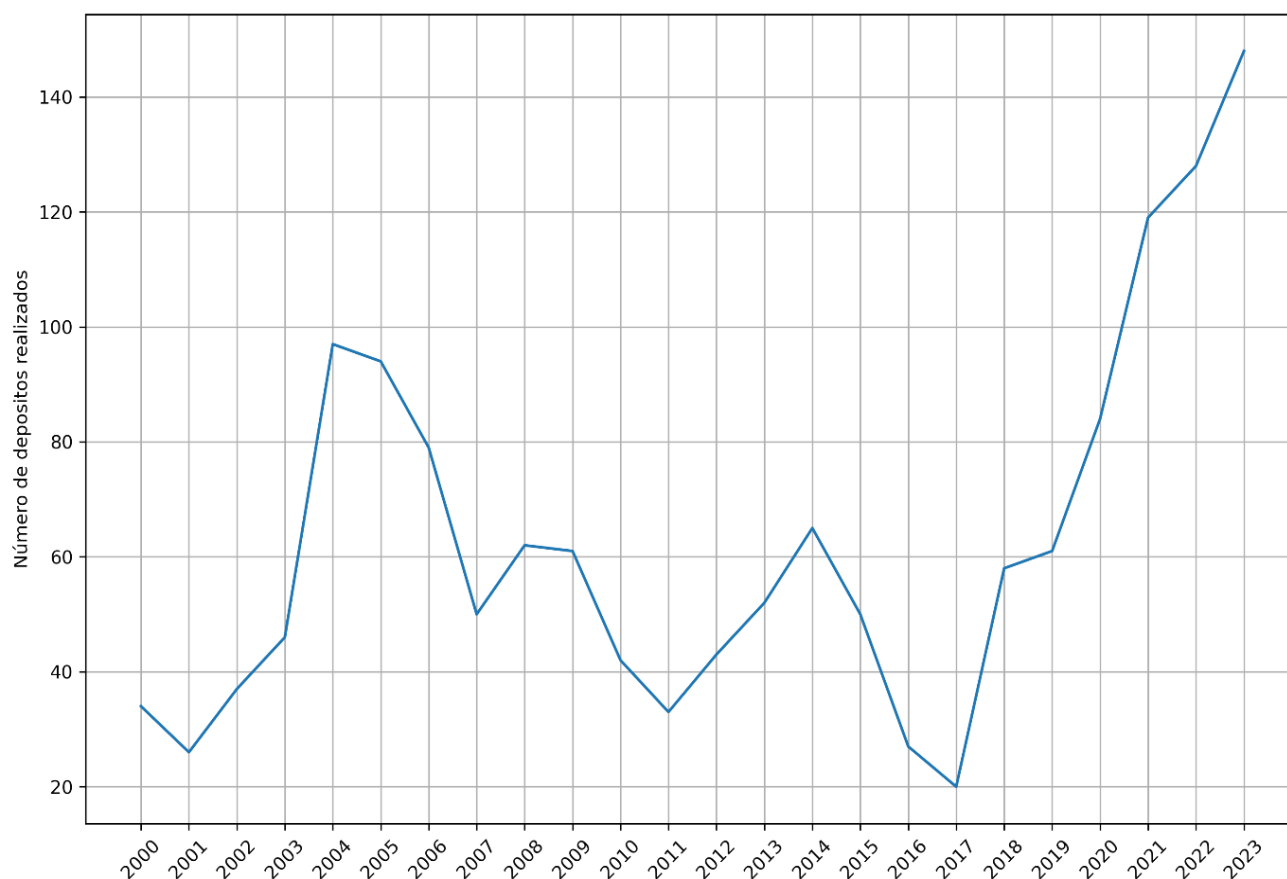
Fonte: INPI (2024).

Elaborado pelo autor.

Destaca-se que a configuração dos 10 maiores depositantes é definida por sete universidades federais, duas empresas e uma fundação de amparo à pesquisa. Dessa forma, enfatiza-se a importância da Petrobras na perspectiva de fomentar a capacidade de inovação do país desde o início do século. Isso se soma à destacada função social da empresa, intrinsecamente ligada à sua origem de gerar independência no mercado global de P&G. Mas sob uma ótica de autonomia no processo de inovação e manutenção da competitividade do país, em um mercado altamente demandante por inovações tecnológicas, a Petrobras enfrenta desafios atuais de otimização da produção e transição energética.

Soma-se ao protagonismo o planejamento da empresa em se manter como uma referência no processo de inovação, conforme evidenciado em recentes planos estratégicos apresentados pela empresa (PETROBRAS, 2023a, 2023b, 2024). Esse comprometimento não está sendo gerado a partir de uma mudança de postura frente às pressões competitivas por soluções tecnológicas, mas é fruto de uma institucionalização crescente da PD&I dentro dos processos internos, enaltecida diante das conquistas alcançadas durante as descobertas do pré-sal e enfatizadas pelo Gráfico 2, onde se evidencia a tendência crescente de depósitos de patentes.

Gráfico 2 – Quantidade total de patentes depositadas pela petrobras entre 2000 e 2023.



Fonte: INPI (2024).
Elaborado pelo autor.

O desempenho da Petrobras expõe uma taxa de crescimento anual composta no número de depósitos de 6.6%, ressaltando o comprometimento da empresa com o processo de PD&I. Destaca-se que, apesar da crise da Covid-19 no início do ano de 2020, com a queda acentuada no preço do barril do petróleo, a empresa tem demonstrado crescimento constante no número de depósitos desde 2017, o que se compatibiliza com o mencionado papel de se posicionar como uma camada de sustentação para o enfrentamento das crises globais que podem afetar as mais diferentes dimensões da economia brasileira.

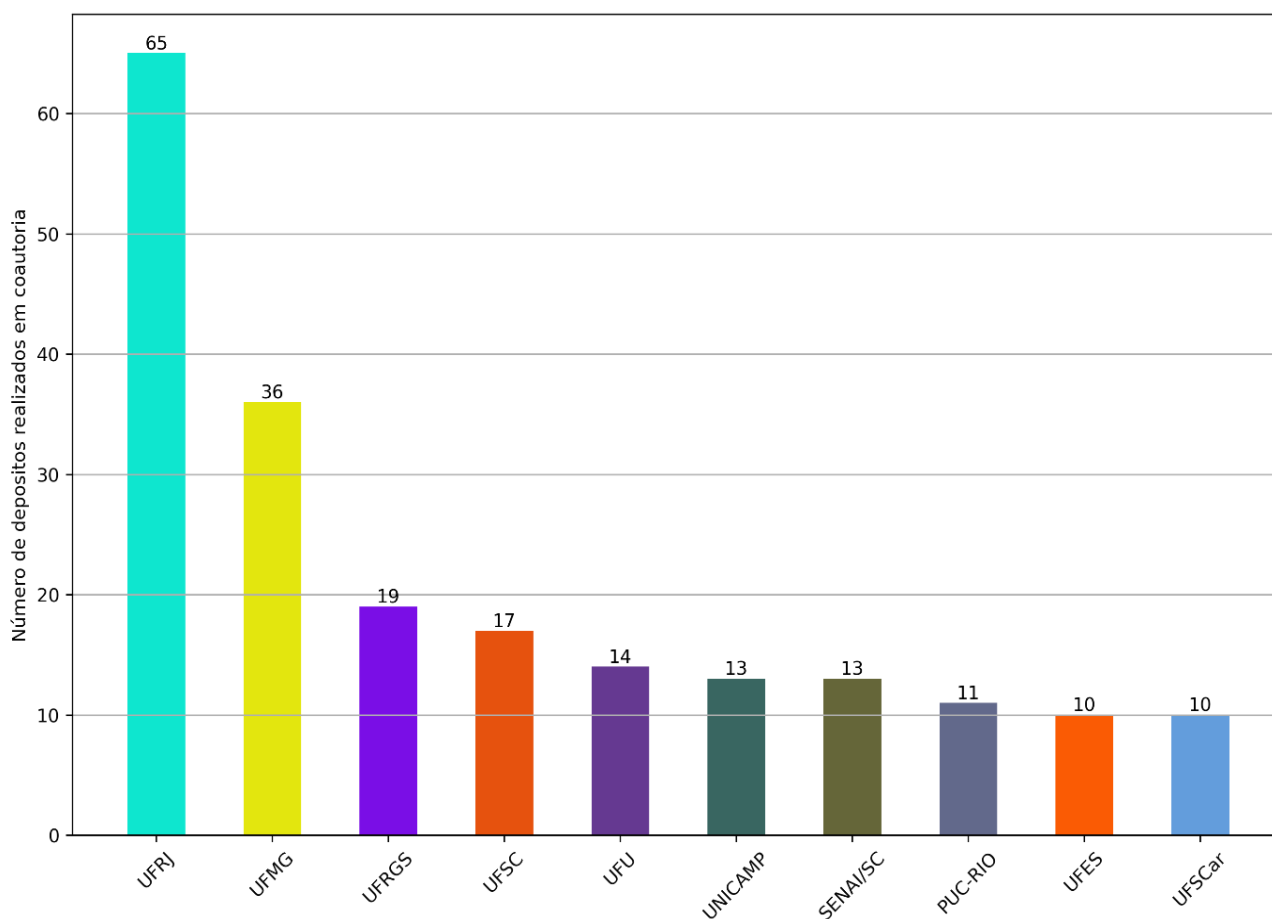
Diante disso, a Petrobras também se posiciona como articuladora de um sistema de inovação, tendo em vista que dentro dos depósitos de patentes existem aqueles realizados em coautoria com as mais diversas empresas, universidades e institutos de pesquisa, conforme evidenciado pela Figura 1.



Dentro de um total de 1.516 depósitos realizados, 370 pedidos foram realizados em coautoria,

subdivididos em 339 pedidos com apenas um coautor, 26 com dois coautores e cinco pedidos com três coautores. Em geral, destaca-se que aproximadamente um em cada quatro processos são realizados com a colaboração de outros agentes, ressaltando que, entre os dados, foram subtraídos pedidos de coautoria com pessoas físicas. Além disso, os dados demonstram que a Petrobras se relacionou com um total de 90 atores distintos no ambiente nacional, pertencentes a diferentes setores científicos e industriais, enaltecendo a pluralidade e a capacidade de promover transbordamentos transversais dentro desse ambiente. O Gráfico 3 apresenta os principais parceiros da empresa nesse processo.

Gráfico 3 - Os 10 principais parceiros nos depósitos de patentes de coautoria com a petrobras.



Fonte: INPI (2024).
Elaborado pelo autor.

Entre os principais coautores, ressalta-se a importância destinada às universidades, principalmente aquelas com proximidade geográfica à matriz da empresa petrolífera, como a UFRJ e a PUC-Rio. Contudo, as relações acabam não se limitando às universidades, mas se somam aos Serviços Nacionais de Aprendizagem Industrial (SENAI), que chegam a 27 patentes quando consideradas as sedes de diferentes regiões. No que diz respeito às empresas, embora nenhuma se posicione entre os 10 principais colaboradores, a Albrecht Equipamentos Industriais (4), a empresa de automóveis FIAT (4) e a petrolífera norueguesa Equinor (3) também apresentam depósitos conjuntos. A evidência destes relacionamentos é enfatizada a partir de um “efeito Petrobras” no que tange à rede de fornecedores, estimulando a colaboração com universidades e centros de pesquisa (FIORAVANTE e AGUIRRE, 2013)

Em síntese, os dados sobre o depósito de patentes indicam que a Petrobras desempenha um papel significativo no ambiente científico nacional, tanto pelo volume de patentes depositadas quanto pela constância dessa atividade, independentemente do ciclo econômico. Além disso, observa-se sua

interação com diferentes agentes do setor e o potencial de gerar efeitos de transbordamento para a economia. Em seguida, analisam-se os dados que relacionam essa atuação às tecnologias emergentes no contexto da I4.0.

4. Protagonismo científico transferido para a era das tecnologias de I4.0.

Esta seção se debruça no papel exercido pela Petrobras nas atividades inventivas no país, buscando identificar como essa responsabilidade tem sido transferida para a era das tecnologias de I4.0. Considera-se que, a partir da capacidade de conexões evidenciadas anteriormente, a firma se posiciona estrategicamente em um cenário onde a política industrial pode gerar transbordamentos para os mais diferentes setores nacionais, não apenas por meio das pesquisas iniciadas, mas também pelos desdobramentos de cada desenvolvimento de novas tecnologias aplicadas ao ambiente industrial.

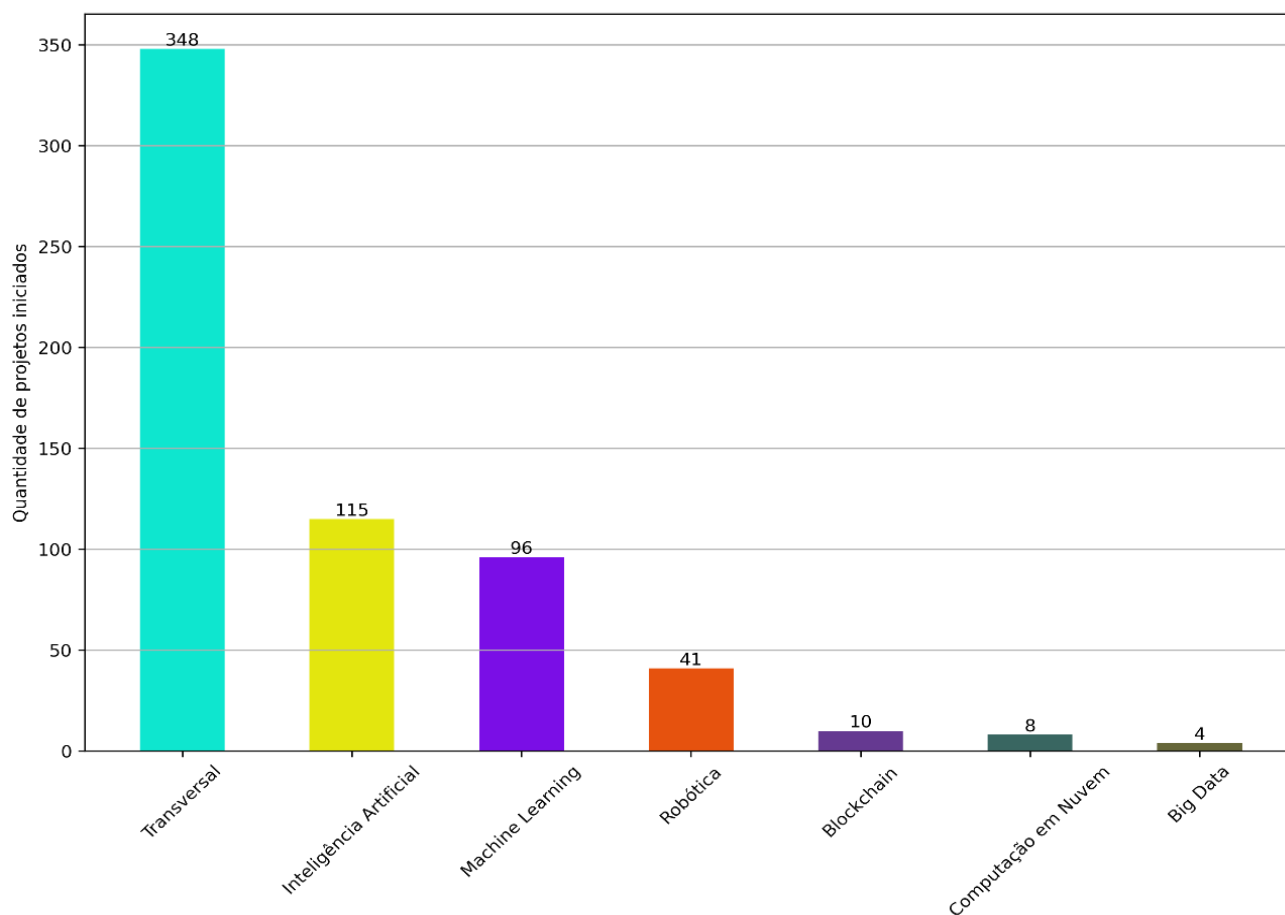
Todos os dados expostos e descritos no decorrer desta seção se apoiam em uma política fundamental para o fomento das atividades de PD&I no país, tendo em vista que, por meio da Lei nº 9.478/1997, foi atribuída à ANP a responsabilidade de estimular a pesquisa e adoção de novas tecnologias para o setor. Para tanto, os contratos de concessão acabam estabelecendo um requerimento, sustentado pela resolução ANP nº 918 de março de 2023, no qual as empresas que tiverem receitas nos campos devem investir entre 0,5% a 1% desse resultado em projetos de pesquisa e inovação, com o risco de sofrer sanções e perder a licença para operar no mercado brasileiro. Sendo assim, as empresas acabam buscando projetos e parceiros para executar esses requerimentos, o que acaba contribuindo com o desenvolvimento das universidades, instituições e centros de pesquisas nacionais.

Tamanha é a importância dessa resolução que foram identificados 4.230 projetos iniciados desde 2016, com um total de aproximadamente R\$ 29,5 bilhões investidos até julho de 2024. Além disso, empresas de diferentes nacionalidades se tornam responsáveis pelo andamento de cada pesquisa, permitindo a introdução de conhecimentos estrangeiros, a importação de expertise e a construção de redes colaborativas internacionais. Ao todo, foram identificadas 20 diferentes empresas, com a participação de gigantes do setor, como a chinesa CNOOC, a norueguesa Equinor, a americana ExxonMobil, a francesa TotalEnergies e a catarense QatarEnergy.

4.1 Caracterização dos projetos vinculados à temática de I4.0.

Dentro dos mais de quatro mil projetos, conforme evidenciado na seção metodológica, uma revisão dos títulos e objetivos permitiram a identificação de 622 iniciativas que pudessem estar associadas ao ambiente de I4.0, o que equivale a 14,7% do total observado e 11,3% do total investido. No que diz respeito à qualificação dos projetos associados à I4.0, existe um predomínio de iniciativas de pesquisa aplicada (343), desenvolvimento experimental (119) e protótipos e pilotos (87). Quando a análise se volta aos pormenores das naturezas tecnológicas, o Gráfico 4 apresenta a distribuição entre as principais tecnologias.

Gráfico 4 – Quantidade de projetos iniciados para cada uma das principais tecnologias integrantes do ambiente de I4.0.



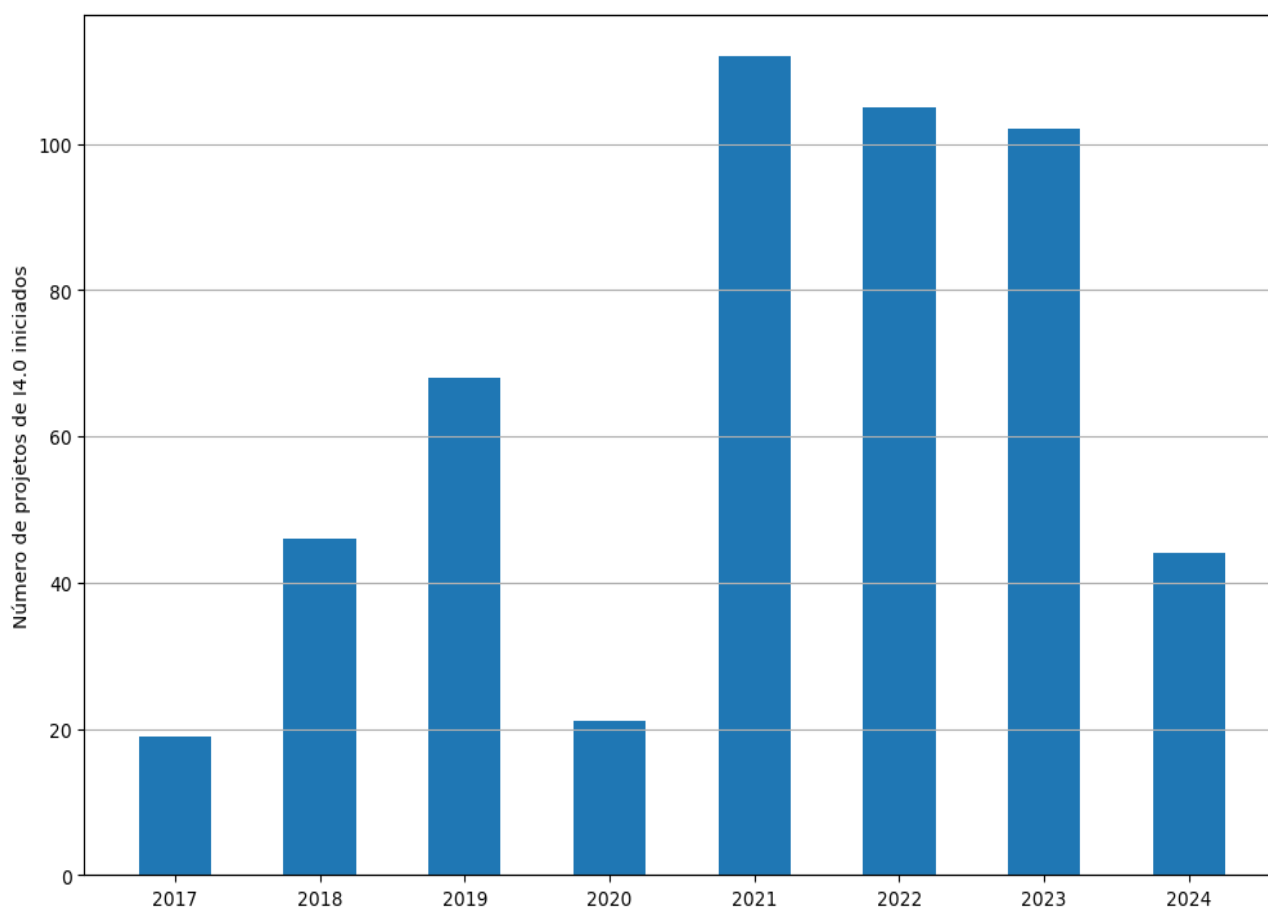
Fonte: ANP (2024).
Elaborado pelo autor.

O grupo de tecnologias transversais representa uma grande diversidade de projetos que não puderam ser associados a uma tecnologia específica, muitas vezes tirando proveito de diferentes elementos conjuntos, como gêmeos digitais, robótica, desenvolvimento de softwares, entre outros. Em relação às tecnologias específicas, existe uma quantidade expressiva de projetos associados à introdução de IA e machine learning. Embora sejam conceitos semelhantes, a diferenciação ocorre na medida em que a IA é utilizada na execução das tarefas em si enquanto o machine learning se refere às análises de dados e apoio ao processo de tomada de decisão, o que se torna indispensável nas etapas de exploração por meio das análises de dados geológicos e sísmicos, além do processo de manutenção de equipamentos.

Outro pilar é sustentado a partir do emprego de robôs no ambiente de produção das empresas petrolíferas, tendo em vista os benefícios associados à manutenção preventiva, verificação de integridade de equipamentos, intervenção em poços, entre outros. Além disso, destaca-se que, apesar de representar pouco mais de 6% dos projetos, o valor investido nessa tecnologia é de 16,6%, o que se compatibiliza com a necessidade de equipamentos e insumos necessários para o desenvolvimento de cada protótipo. No âmbito do blockchain, as principais funcionalidades partem da gestão, comercialização, pagamentos digitais e controle de estoque. Para a computação em nuvem, o armazenamento e processamento de dados apoiam novamente o processo de tomada de decisão por meio de soluções computacionais. Por fim, a tecnologia de big data é utilizada como um instrumento indispensável para apoiar análises complexas, análises de padrões e correlações com eventos identificados dentro da produção.

Dentro de todas essas iniciativas, destaca-se o papel da Petrobras em ser a responsável por pouco mais de 80% dos projetos, apresentando, além disso, crescimento acentuado durante nos últimos anos em comparação ao período pré-Covid-19, conforme evidenciado pelo Gráfico 5.

Gráfico 5 – Quantidade de projetos de I4.0 iniciados pela Petrobras durante o período de 2017 e junho de 2024.



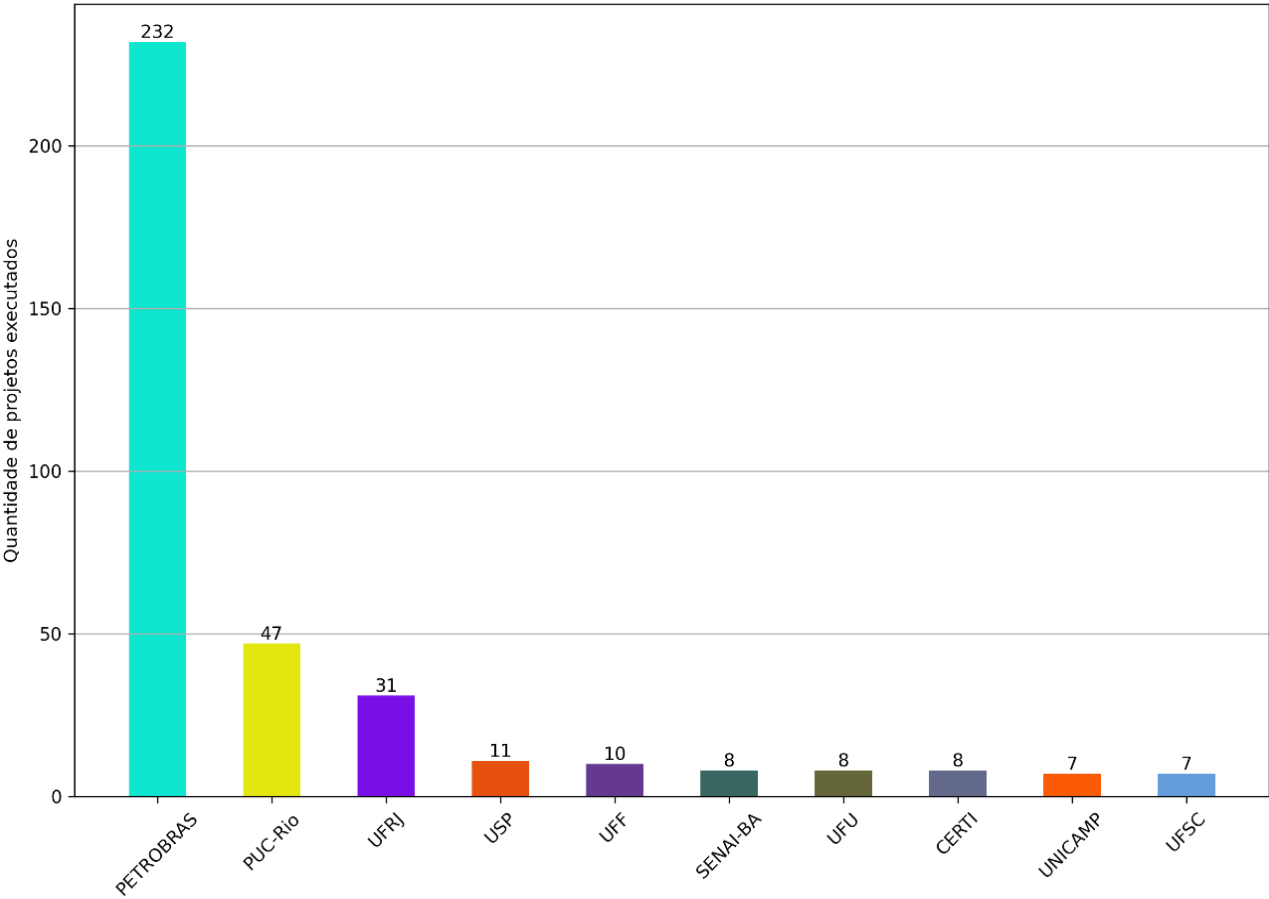
Fonte: ANP (2024).
Elaborado pelo autor.

Resguardado o período de 2020, quando a empresa teve uma queda acentuada de receita devido à crise da Covid-19, a Petrobras demonstra um foco notável em projetos de digitalização que se compatibilizam com o planejamento estratégico recente da companhia. Além disso, esse movimento de aumento no número de projetos é acompanhado pela necessidade de estabelecer parcerias com diferentes atores do sistema nacional de inovação, o que acaba sendo evidenciado na subseção seguinte.

4.2 Parcerias estratégicas desenvolvidas para as pesquisas de I4.0.

Da mesma forma como foi evidenciado na seção relacionada aos depósitos de patente, os dados extraídos da ANP viabilizaram a identificação de diferentes redes estabelecidas para o desenvolvimento de cada uma das tecnologias identificadas anteriormente. Para isso, foi realizado o cruzamento entre os projetos de responsabilidade da Petrobras com diferentes atores executores, sendo os principais identificados pelo Gráfico 6.

Gráfico 6 – Quantidade de projetos de i4.0 executados sobre a responsabilidade da petrobras.



Fonte: ANP (2024).
Elaborado pelo autor.

Destaca-se que a maioria dos projetos acabam sendo executados pela própria empresa, compatível com o mesmo resultado alcançado dentro dos dados referente aos depósitos de patentes e destacado por Bazzo e Porto (2013) quando os autores realizaram a mesma análise para período recente. Entretanto, nota-se que alguns dos principais relacionamentos no âmbito de depósitos de patentes são carregados para a esfera de tecnologias de I4.0, como no caso da UFRJ, PUC-Rio, UFSC, SENAI e Unicamp. Nessa linha, destaca-se o papel das universidades e instituições públicas no sistema nacional de inovação, centralizados diante de um protagonismo da Petrobras, que é capaz de gerar transbordamentos para a economia e o ambiente inovativo do país. Na sequência, a TABELA 3 realiza a exposição dos principais executores para cada divisão tecnológica.

Tabela 3 - Principais executores para cada projeto de responsabilidade da Petrobras.

Tecnologias	Executores
Transversal	Petrobras (132); PUC-Rio (24); UFRJ (17); CERTI (8); UFU (8)
Inteligência artificial	Petrobras (40); PUC-Rio (14); UFRJ (8); UFF (3); UFMG (2)
Machine Learning	Petrobras (39); PUC-Rio (6); UFRJ (5); LRace (3); UFSC (3)
Robótica	Petrobras (13); SENAI-SC (4); SENAI-BA (4); Instor (2); USP (2)
Blockchain	Petrobras (5); PUC-Rio (2); GoLedger (2); DR Wars (1)
Computação em Nuvem	Petrobras (3); Unicamp (1); UFF (1); IPE (1); SELLETIVA (1)
Big Data	UFRN (1); UFRJ (1); Morningstar (1); PUC-Rio (1)

Fonte: ANP (2024).
Elaborado pelo autor.

Tendo em vista a distribuição dos executores, observa-se que a PUC-Rio tem contribuído nas

mais diversas frentes tecnológicas, acompanhada pela UFRJ, o que ressalta os fatores de proximidade dessas instituições com a matriz da companhia. Nos âmbitos de institutos e centros de pesquisa, os Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras (CERTI) se colocam como um dos principais parceiros científicos da companhia sob uma ótica transversal. Além disso, apoiando o desenvolvimento de protótipos e avanços na área da robótica, as diferentes filiais do SENAI se inserem novamente como um parceiro estratégico para a companhia. Por fim, os relacionamentos com empresas são evidenciados por meio dos vínculos instituídos com GoLedger, Morningstar e LTrace.

Em síntese, nota-se a capacidade da Petrobras em novamente estabelecer relacionamentos com os mais diferentes atores do sistema nacional de inovação, contribuindo com transbordamentos no ambiente das universidades, institutos, centros de pesquisa e empresas pertencentes ao setor. Além de gerar soluções tecnológicas que venham a contribuir com a competitividade da empresa frente um mercado com pressões por eficiências produtivas, esses enraizamentos estabelecidos contribuem com a oportunidade de avançar os estudos e aplicações que vêm sendo desenvolvidos em cada um desses ambientes. Nesta linha, a seção seguinte se apoia na exposição de casos de sucesso que foram alcançados por meio desses projetos iniciados pela Petrobras.

5. Aplicação de soluções de I4.0 no ambiente de petróleo e gás

Nesta seção são apresentados dois casos de sucesso de implementação de soluções tecnológicas, viabilizados pelos avanços nas tecnologias de I4.0, que ressaltam não somente os benefícios atrelados à utilização, mas a incidência de intensidade tecnológica no setor e a capacidade da Petrobras em se relacionar com diferentes atores. Nessa linha, o primeiro produto apresentado é o premiado Robô Annelida e, na sequência, o também premiado projeto Libra 4.0.

5.1. Robô annelida: inspirações da natureza fomentada pela colaboração ativa.

O primeiro projeto apresentado faz uso de inspirações da natureza com a aplicação da robótica a fim de enfrentar um desafio no setor de P&G frente à obstrução de dutos flexíveis em águas profundas que, dependendo das proporções, podem tornar o poço inoperante por período indeterminado. Vencedor do prêmio ANP de Inovação Tecnológica 2020, o robô se destaca no combate direto aos prejuízos associados à ruptura operacional e danos financeiros na casa de centenas de milhões (FIESC, 2022; PETROBRAS, 2024b; SENAI, 2024).

Diante das primeiras conquistas alcançadas pelo desenvolvimento do robô, a Petrobras se torna a empresa responsável pelo projeto nº 22027-7, iniciado em junho de 2021 e com prazo de 36 meses, com o objetivo de desenvolver ferramentas adicionais e realização de testes em campo. Para isso, a firma de exploração de P&G desembolsou aproximadamente R\$ 48 milhões e contou com a cooperação de diferentes organizações, como a empresa Upsensor, os centros do SENAI de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, com os institutos de inovação em sistemas embarcados, manufatura e polímeros, além de apoio da USP e UFRGS, contando com o suporte dos laboratórios de mecatrônica, controle e elétrica. Além destes, diretamente vinculados ao projeto encomendado pela ANP, nota-se a participação de membros do Centro de Pesquisa, Inovação e Difusão em Ciências Matemáticas Aplicadas à Indústria, do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da USP e um integrante da UFSCar.

As aspirações da natureza decorrem do entendimento de que movimentos peristálticos, executado pelas minhocas, foram considerados os mais apropriados para a aplicação no projeto, tendo em vista a característica dos dutos, que seriam objeto de intervenção. Sendo assim, o grupo de pesquisa criou o robô Annelida em homenagem aos anelídeos, representado pela FIGURA 6 (PETROBRAS, 2024b).

Figura 2 - Robô annelida utilizado para a desobstrução de dutos flexíveis em águas profundas.



Fonte: SENAI (2024).

A operacionalização do robô é feita a partir de uma sala de controle da plataforma, onde um técnico opera remotamente e de forma semiautônoma no interior do duto, deslocando-o até a obstrução. Diante dela, é realizada uma reação química por meio de um sistema de geração de nitrogênio que viabiliza a remoção de qualquer material que obstrui a passagem de óleo. Além disso, o robô também é utilizado para o processo de limpeza dos dutos e inspeções, todos esses procedimentos podendo ser realizados em linhas de até três quilômetros de profundidade e 15 quilômetros de comprimento (PETROBRAS, 2024b). Destaca-se que o resultado assumido por meio do desenvolvimento deste robô é de uma economia potencial de bilhões de reais na substituição de dutos danificados e nos lucros cessantes que decorrem da operação (SENAI, 2024).

O projeto do robô Annelida expõe de forma clara os benefícios associados ao emprego destas tecnologias no ambiente de produção da petrolífera. Em novembro de 2023, o projeto nº 23460-9 teve início com participação da USP e apoiado pelo Instituto de Física de São Carlos, com o objetivo de adequar o laboratório de robótica da instituição e facilitar novos desenvolvimentos que possam ser empregados nas instalações onshore e offshore da Petrobras, o que ressalta o comprometimento da firma com desenvolvimentos futuros no ambiente da robótica.

Esse caso de sucesso demonstra como a Petrobras é capaz de liderar projetos inovadores para o setor, principalmente no âmbito de exploração em águas ultra profundas, por meio da construção de redes colaborativas que atingem diferentes esferas de um sistema de inovação, seja com empresas privadas, com centros de pesquisa e com universidades federais. Por meio da colaboração e maximização de competências específicas, viabiliza-se a entrega de soluções caseiras de alta intensidade tecnológica que se tornam referência para o mercado internacional.

5.2. Libra 4.0: desenvolvimento de gêmeos digitais por meio da colaboração internacional.

O segundo estudo de caso de destaque foi o vencedor na categoria Projetos e Pesquisas do Energy Awards 2024, vinculado ao projeto nº 23472-4 e fruto de um investimento superior a R\$ 52 milhões, com data de início em fevereiro de 2023 e prazo estabelecido de 36 meses. Diferentemente do anterior, quando a Petrobras demonstrou a habilidade de estabelecer conexões com diferentes instituições nacionais, neste caso a colaboração foi realizada com diferentes empresas internacionais do setor por meio de um consórcio estabelecido com a TotalEnergies, Shell, CNODC e CNOOC. Além destas, a execução do projeto esteve vinculada à empresa americana Halliburton.

O projeto intitulado Libra 4.0 tem como objetivo o desenvolvimento de uma representação digital do campo de Nero na bacia de Santos, terceiro maior campo de óleo e gás no Brasil, indo desde aspectos relacionados aos reservatórios de hidrocarbonetos até a infraestrutura topside, o que viabiliza a otimização e monitoramento da produção, também pelo emprego de inteligência artificial. Desta forma, são destacados três principais benefícios associados ao emprego do gêmeo digital: acesso à informação, testes de hipótese e sistema de feedback (LIBRA [...], 2024).

Relativamente ao acesso à informação, a representação digital permite que os engenheiros possam acessar dados em tempo real, visualizando componentes que podem ser úteis dentro do processo de gerenciamento da produção. A visualização do gêmeo digital como uma maquete da operação habilita os empregados a testarem hipóteses que podem aumentar a eficiência da plataforma. Por fim, existe um sistema de retroalimentação onde o emprego de inteligência artificial dentro desse ambiente configura um sistema cíclico de melhoramento contínuo. Uma representação de um gêmeo digital é realizada por meio da Figura 3.

Figura 3 - Representação da tecnologia de gêmeo digital para uma plataforma de produção de petróleo e gás.



Fonte: Petrobras (2024).

O desenvolvimento, implementação e benefícios associados aos gêmeos digitais exaltam o nível de intensidade tecnológica inerente ao ambiente de produção de P&G, o que sustenta a necessidade de que sejam estabelecidas redes colaborativas entre grandes empresas do setor, não somente para diluir os custos e riscos vinculados ao projeto, mas também para tirar proveito das competências adquiridas por cada uma. Ambos os elementos se tornaram as principais motivações para a construção da solução Libra 4.0, tendo em vista que a rede foi configurada por empresas de diferentes nacionalidades e com notório sucesso nas respectivas histórias de desenvolvimento e competição no setor (LIBRA [...], 2024).

Tal como se concluiu com respeito ao apoio da Petrobras às tecnologias de robótica, neste caso é destacada a habilidade da empresa em estabelecer relações com seus principais concorrentes em âmbito internacional a fim de tirar proveito de competências específicas e expandir a oferta de soluções tecnológicas desenvolvidas em território nacional. Ressaltando a existência de projetos de alta intensidade tecnológica e de conhecimento, a empresa se apoia em soluções digitais para problemas inerentes ao ambiente de produção que expandem o próprio horizonte de invenções possíveis.

6. Considerações finais.

No decorrer deste trabalho alguns questionamentos foram respondidos com o objetivo de expor o papel crítico assumido pela Petrobras dentro do sistema de inovação brasileiro. Ultrapassando as funções relacionadas à atividade fim da companhia, ou seja, de atuar no mercado de P&G, o caráter social indissociável da empresa desde sua origem é observado a partir do protagonismo assumido durante as atividades de PD&I iniciadas em território nacional. Sendo assim, o trabalho buscou identificar a atuação da Petrobras dentro das atividades de patenteamento de invenções, o comportamento da companhia diante das novas tecnologias que emergem com o conceito de I4.0, e expôs dois casos que ilustram as observações alcançadas.

Com relação à atuação da Petrobras nas atividades de depósitos de patentes, os dados adquiridos junto ao INPI demonstram que, além de assumir a vanguarda da produção de invenções nacionais, a empresa se habilita a estabelecer relacionamentos com os mais diferentes atores de um sistema nacional de inovação. Não sendo limitado às conexões com universidades, são identificadas redes estabelecidas com centros e institutos de pesquisa, laboratórios e empresas privadas, sejam elas nacionais ou internacionais. Sendo assim, assume-se que a Petrobras possui um papel indispensável para o sistema nacional de inovação a partir da motivação por buscas de soluções tecnológicas e, paralelo a isso, a habilidade de estabelecer relações com uma grande variedade de atores pertencentes a esse sistema.

Na sequência, o protagonismo identificado dentro do cenário de patentes é transferido para a conjuntura de tecnologias associadas ao conceito de I4.0. A partir dos diferentes projetos incentivados por meio da obrigatoriedade de investimento de 1% da receita bruta em projetos de PD&I, nota-se o predomínio de iniciativas de responsabilidade da Petrobras. Dentro destes, foram identificados diferentes núcleos associados às tecnologias de I4.0 que passam pelo desenvolvimento de inteligência artificial, machine learning, robótica, entre outros temas transversais. Nesta linha, e se compatibilizando com os métodos estabelecidos nos dados de depósitos de patentes, foram apresentadas as diferentes redes de relacionamentos estabelecidas pela empresa com diferentes atores do sistema nacional, que variam entre universidades, laboratórios, empresas nacionais e estrangeiras. Além de novamente reforçar o papel assumido no estímulo às relações cooperativas, os diferentes projetos destacam a incidência de alta intensidade tecnológica e conhecimento nas atividades de PD&I para o setor de P&G, o que contribui com a sustentabilidade do país em um mercado competitivo e com a capacidade de ofertar soluções tecnológicas com alto valor agregado para o setor.

Por fim, buscando elucidar os resultados alcançados, dois projetos são apresentados em maior detalhe, enaltecendo a capacidade da Petrobras de atuar como a locomotiva do processo inovativo no país. Primeiramente, o robô Annelida se destaca a partir de um projeto de robótica que buscou inspirações na natureza e se apoiou em um ecossistema colaborativo majoritariamente nacional. Diante

de parcerias estabelecidas com o SENAI, UFRGS e USP, foi desenvolvido um robô premiado que atua diretamente no processo de desobstrução, limpeza e manutenção de ativos da plataforma, gerando bilhões de reais em economia frente a pausas não programadas e otimização da produção. Além disso, é destacado o comprometimento da empresa em atuar investindo na infraestrutura de pesquisa no país, a fim de fomentar projetos futuros dentro da área da robótica.

No segundo caso de sucesso, o também premiado projeto Libra 4.0 enaltece o emprego de gêmeos digitais e inteligência artificial nos campos de exploração, a fim de aumentar a eficiência operacional, reduzir os custos de produção e manutenção, e aumentar a rentabilidade do campo. Para isso, a Petrobras foi responsável por um projeto realizado em parceria com outras grandes empresas internacionais no setor, o que demonstra a capacidade da firma em articular redes colaborativas e tirar proveito de competências distintas a fim de desenvolver as pesquisas nacionais.

Referências bibliográficas

- BAZZO, K. DE C.; PORTO, G. S.** Redes de cooperação da Petrobras: um mapeamento a partir das patentes. In: L. M. Turchi; F. De Negri; J. A. De Negri (Orgs.); Impactos tecnológicos das parcerias da Petrobras com Universidades, Centros de Pesquisa e Firms Brasileiras. 1o ed, v. 1, 2013. Brasília: IPEA.
- PETROBRAS.** Plano Estratégico 2023-2027. 2023a.
- PETROBRAS.** Plano Estratégico 2024-2028+. 2023b.
- PETROBRAS.** Plano Estratégico 2050 e Plano de Negócios Petrobras 2025-2029. 2024a.
- PETROBRAS.** Natureza como Inspiração. Disponível em: <https://nossaenergia.petrobras.com.br/w/inovacao/natureza-como-inspiracao>. Acesso em 10/02/2025. 2024b
- PETROBRAS.** Petrobras lança Plano de Negócios 2025-2029 com investimentos de US\$111 bilhões. Disponível em: <https://agencia.petrobras.com.br/w/negocio/petrobras-lanca-plano-de-negocios-2025-2029-com-investimentos-de-us-111-bilhoes>. Acesso em: 25/12/2024c.
- FIORAVANTE, D. G.; AGUIRRE, L.** A cooperação entre universidades e empresas e os fornecedores da Petrobras. In: L. M. Turchi; F. De Negri; J. A. De Negri (Orgs.); Impactos tecnológicos das parcerias da Petrobras com Universidades, Centros de Pesquisa e Firms Brasileiras. v. 1, 2013. Brasília: IPEA.
- FIESC.** Robô Annelida imita movimento das minhocas para a limpeza de dutos do pré-sal. Disponível em: <https://fiesc.com.br/pt-br/imprensa/robo-annelida-imita-movimento-das-minhocas-para-limpeza-de-dutos-do-pre-sal>. Acesso em 10/02/2025.
- LIBRA 4.0:** inovação e sustentabilidade na transformação do setor de Óleo e Gás. [Locução de]: Hudson Mendonça. [Participação de]: Alexandre Emerick, Leonardo Tedeschi, Sergio Sousa. [S. l.]: MIT Technology Review Brasil, 4 set. 2024. Podcast. Disponível em: <https://open.spotify.com/episode/6skytXJE2CzY3IwzII0jVk?si=9feef34e466543fc>. Acesso em 20 dez. 2024.
- SENAI.** Robô Annelida. Disponível em: <https://institutos.sc.senai.br/cases/annelida/>. Acesso em 10/02/2025.