

O PARADOXO ENTRE A INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NO SETOR DE ÓLEO E GÁS: UMA ANÁLISE DOS PROJETOS DA ANP

**Maria Aparecida de Oliveira Lopes^{1,*}, Taisa Caetano Sousa Melo de Almeida², Augusto Eduardo Miranda Pinto³, Romeu Silva Neto⁴, Bruno Barzellay F. da Costa⁵,
(¹Instituto Federal Fluminense, Rod. Amaral Peixoto, KM 164 – Imboassica - Macaé - RJ, 27973-030, Brasil; ^{*}Maria Aparecida de Oliveira Lopes: mariahlopez1345@gmail.com)**

RESUMO

O setor de Óleo e Gás (O&G) ocupa uma posição estratégica na matriz energética brasileira, mas enfrenta o desafio de alinhar inovação tecnológica às exigências de sustentabilidade ambiental. Este artigo tem como objetivo analisar o paradoxo entre inovação e sustentabilidade, com base nos projetos financiados pela cláusula de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Para tanto, utilizou-se uma revisão bibliográfica de natureza qualitativa e exploratória, com recorte temporal de 2013 a 2023. A análise dos dados revelou avanços no estímulo à inovação, mas também identificou entraves regulatórios, econômicos e institucionais que dificultam sua plena integração com práticas sustentáveis. Conclui-se que, ao investir em soluções limpas, na articulação de políticas públicas e na promoção de uma cultura voltada à transição energética justa, é possível inovar sem lesar os compromissos ambientais, tornando a inovação um pilar técnico, ambiental e ético para o setor.

Palavras-chave: Inovação; Sustentabilidade; ANP; PD&I; Óleo e gás

INTRODUÇÃO

Diante da crise energética e da crescente demanda interna, o setor de óleo e gás (O&G) mantém um papel essencial na matriz energética brasileira e global. Nesse contexto, o setor tem atraído investimentos crescentes em novas tecnologias, impulsionados tanto pelas demandas energéticas, quanto pela pressão por práticas mais sustentáveis (Vaz & Uriona, 2019).

A exigência por fontes limpas de energia decorre, sobretudo, das mudanças climáticas e da criação de políticas ambientais mais rigorosas. Nesse contexto, esse artigo busca responder a seguinte questão: De que forma as empresas podem assegurar sua competitividade e adoção de novas tecnologias sem colocar em risco seus compromissos com as políticas de proteção ambiental?

Esse paradoxo, presente na dinâmica industrial moderna, reforça a urgência de iniciativas que aliem desenvolvimento econômico, inovação tecnológica e responsabilidade ambiental. Buscar um equilíbrio entre emissões e consumo de recursos, por meio de soluções técnicas que minimizem poluentes e rejeitos, é um desafio crucial para o setor e para a sociedade.

Como destaca a literatura, sustentabilidade e progresso científico, podem ser integrados por meio de estruturas colaborativas como a tríplice hélice (Etzkowitz & Zhou, 2017). Contudo, Leal & Figueiredo (2021) ressaltam que as políticas públicas brasileiras ainda são insuficientes para esse propósito, enfrentando entraves como limitações de infraestrutura e uso inadequado de recursos, principalmente em áreas estratégicas como o setor de O&G.

Assim, este artigo tem como objetivo principal analisar o paradoxo entre inovação tecnológica e sustentabilidade, com base em uma revisão bibliográfica centrada em projetos financiados pela cláusula de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) da Agência

Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). A proposta é analisar de que forma as novas tecnologias podem servir de alicerce para a promoção da sustentabilidade nessas indústrias. Essa reflexão é fundamental para destacar a necessidade de utilizar a tecnologia como aliada da preservação ambiental, e não como ferramenta de manutenção de práticas insustentáveis, comuns em setores cujos valores ainda não estão voltados a um desenvolvimento limpo e duradouro.

MATERIAL E MÉTODOS

Este artigo foi desenvolvido por meio de uma revisão bibliográfica de natureza exploratória e abordagem qualitativa, com objetivo de compreender o paradoxo entre inovação tecnológica e sustentabilidade ambiental no setor de O&G. Para isso, foram selecionadas publicações científicas, livros e artigos em periódicos especializados que forneceram embasamento teórico e validade científica à pesquisa.

O recorte temporal compreende o período entre 2013 a 2022, escolhido por abranger transformações relevantes nas legislações, diretrizes regulatórias e modelos tecnológicos aplicados ao setor energético nacional. Este intervalo também permite captar mudanças mais recentes nas políticas públicas voltadas à inovação sustentável. Foram excluídos estudos que não se enquadravam nesse marco temporal ou que não guardavam pertinência direta e alinhamento com os objetivos da investigação.

Completando, foi conduzido um levantamento sistematizado de publicações acadêmicas nas bases de dados Google Acadêmico e Scopus utilizando os descritores: “inovação”, “sustentabilidade” e “ANP”. O foco da seleção recaiu sobre estudos que abordassem a inovação tecnológica e a sustentabilidade ambiental no contexto da indústria de O&G. Após o refinamento da busca, foram selecionados 22 estudos para leitura aprofundada e suporte à revisão.

Além da análise das publicações acadêmicas, o estudo incorporou a investigação do arcabouço normativo brasileiro relacionado à eficiência energética e PD&I no setor de O&G e as bases abertas da ANP. Foram examinadas legislações, resoluções e diretrizes disponíveis no site da ANP, com intuito de compreender como o ordenamento jurídico tem orientado e incentivado a adoção de práticas tecnológicas mais sustentáveis no setor. Após a triagem inicial, procedeu-se à leitura aprofundada dos materiais selecionados, priorizando a identificação das principais contribuições teóricas, institucionais, regulatórias e financeiras associadas ao contexto brasileiro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A inovação tecnológica no setor de O&G

A inovação no setor de O&G exige abordagem multidimensional, integrando teorias clássicas às aplicações recentes, concomitantemente alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Para Schumpeter (1982), a inovação decorre do processo central ‘destruidor-criador’, no qual tecnologias disruptivas rompem modelos estabelecidos e geram saltos de produtividade. No contexto de O&G, isso se traduz na evolução das tecnologias de perfuração de poços de petróleo e em projetos de PD&I, permitindo exploração de reservatórios mais complexos, com maior eficiência e redução de custos. Complementando essa visão, Lundvall (1992) enfatiza a importância dos Sistema Nacional de Inovação (SNI) e das interações entre empresa, universidades, agências reguladoras e a cadeia de fornecedores, o que, no setor, se traduz em parcerias de PD&I entre operadoras (como Petrobras, Shell, Equinor, dentre outras), centros de pesquisas e *startups*.

Contudo, à medida que a inovação tecnológica avança no setor, cresce simultaneamente a necessidade de que essas transformações estejam alinhadas a princípios sustentáveis, dado o

impacto ambiental das atividades do setor e a pressão por práticas responsáveis. Nesse sentido, para Vaz & Uriona (2019), por décadas, os conceitos de inovação e sustentabilidade eram retratados como opostos. No entanto, atualmente, ambos convergem como forma de criar um mercado mais eficiente e equilibrado, resguardando o consumo de recursos para gerações futuras e minimizando falhas antrópicas.

Além disso, para Leal & Figueiredo (2021), a complexidade das políticas de inovação no Brasil ainda são questões a serem enfrentadas. Ainda que existam melhorias no contexto de novos investimentos, seus resultados permanecem limitados. Portanto, o foco deve estar não apenas no aumento dos valores aplicados, mas principalmente na gestão estratégica dos recursos, de modo a evitar que sejam restringidos por entraves burocráticos ou regulatórios.

Em resposta a essas dificuldades, Etzkowitz & Zhou (2017) destacam a incorporação do modelo triplice hélice, como uma maneira de potencializar a inovação em setores estratégicos da economia, como é o caso da área de produção energética. Segundo os autores, a correlação entre universidade, Estado e indústria podem formar uma rede complexa e essencial para impulsionar o progresso tecnológico e científico. Rocha (2019) analisa especificamente o impacto das pesquisas financiadas pela cláusula de PD&I nos contratos de concessão da ANP. Para o autor, ainda que exista um grande potencial nesses mecanismos, a ausência de métodos eficazes para a avaliação de resultados e criação de indicadores de desempenho ainda compromete a mensuração da eficiência das inovações tecnológicas no setor.

Nascimento *et al.* (2022) relatam que o setor de O&G é um dos pilares da economia nacional e, diante de uma nova abordagem de mercado, tem buscado tecnologias sustentáveis para alcançar melhores resultados. Um exemplo disso é a criação de parques tecnológicos no estado do Rio de Janeiro. Nesse contexto, diversas *startups* vêm desenvolvendo ações alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), direcionando recursos para investimentos em energias renováveis, mitigação de impactos ambientais, aumento da eficiência energética, entre outras práticas baseadas em tecnologias emergentes que estão transformando esse setor industrial. Galiazzi (2023), por sua vez, avalia a necessidade urgente de discutir matrizes energéticas emergentes como estratégia para acelerar a transição energética brasileira e reduzir o uso de recursos não renováveis.

Sustentabilidade ambiental e os desafios desse setor

Segundo Nascimento *et al.* (2022), embora hajam novas iniciativas voltadas à sustentabilidade, o setor de O&G ainda apresenta mobilizações insuficientes para uma transformação ambiental integral. Essa realidade evidencia a fragilidade na implementação dos ODS no contexto industrial, revelando o paradoxo entre crescimento econômico impulsionado por tecnologias e o comprometimento com práticas sustentáveis. No setor, esse dilema se acentua quando a inovação é direcionada majoritariamente à eficiência operacional, sem necessariamente incorporar critérios ambientais robustos.

Moreira & D'Almeida (2019), destacam criticamente os desafios enfrentados pela indústria de O&G no Brasil, especificamente no que diz respeito ao ambiente regulatório. Apesar da existência de uma legislação ambiental extensa, a burocracia excessiva, a sobreposição de normas e fiscalizações ineficientes continuam sendo entraves significativos. Tais obstáculos afetam diretamente a viabilidade e a agilidade de projetos sustentáveis, incluindo aqueles fomentados pela cláusula de PD&I da ANP, que exige conformidade regulatória rigorosa para liberação de recursos e aprovação de iniciativas inovadoras.

Esse arcabouço regulatório desfavorável compromete o avanço de soluções tecnológicas voltadas à sustentabilidade ambiental. Em contraste, países como os Estados Unidos, apresentam um ambiente institucional mais favorável à inovação no setor de O&G,

principalmente no que diz respeito à clareza normativa, à integração entre agências reguladoras e à previsibilidade jurídica.

Segundo Kivimaa & Kern (2016), o sucesso de políticas de transição energética em países desenvolvidos está fortemente relacionado à articulação entre estruturas regulatórias simples, incentivos financeiros diretos e ambientes colaborativos entre governo, indústria e centros de pesquisa. No caso norte-americano, iniciativas como o apoio à tecnologia de captura e armazenamento de carbono (CCUS) e a rápida aprovação de projetos-piloto em energias alternativas, demonstram como a desburocratização e a harmonização normativa favorecem a adoção de soluções inovadoras.

Ao contrário disso, no Brasil, a fragmentação entre as esferas federal, estaduais e municipais, somada à morosidade na liberação de recursos e à ausência de mecanismos eficientes de avaliação desempenho, dificultam a implementação eficaz de projetos financiados pela cláusula de PD&I da ANP. Assim, a comparação evidencia que, enquanto a inovação tecnológica é impulsionada em ambientes institucionais coesos, no contexto brasileiro ela ainda é limitada por um sistema regulatório complexo e pouco coordenado, agravando o paradoxo entre inovação e sustentabilidade.

O papel da ANP na promoção de PD&I Sustentável

A Administração Pública direta exerce um papel crucial na implementação de medidas que viabilizem o desenvolvimento sustentável em setores industriais, especialmente por meio de instrumentos como subsídios, incentivos fiscais e mecanismos regulatórios. Nesse contexto, a ANP desponta como protagonista na indução da inovação sustentável no setor de O&G. Segundo Nascimento *et al.* (2022), a Resolução nº 799/2019 configura como um marco regulatório importante, ao fomentar ecossistemas de inovação e *startups* comprometidas com soluções tecnológicas alinhadas à Agenda 2030, demonstrando o papel estratégico da agência reguladora na promoção de políticas de PD&I com viés sustentável.

Rocha (2019) complementa essa perspectiva ao destacar que a cláusula de PD&I presente nos contratos de concessão da ANP representa uma oportunidade concreta para financiar projetos voltados à transição energética e à mitigação de impactos ambientais. Nesse sentido, a ANP atua como articuladora de esforços entre empresa, operadoras, centros de pesquisa e universidades, promovendo a difusão de tecnologias sustentáveis e contribuindo para a formulação de políticas industriais alinhadas aos ODS.

De acordo com Vitto (2020), a criação da ANP, pela Lei nº 9.478/1997, marcou uma reconfiguração institucional significativa, ao transferir funções regulatórias antes atribuídas à Petrobrás. A partir dessa mudança, a ANP passou a operacionalizar instrumentos normativos voltados ao setor energético, dentre eles a cláusula de P&DI, tornando-se um agente central tanto de gestão de recursos financeiros quanto de articulação de parcerias em Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I).

Pereira & Carvalho (2018), reforçam o caráter estratégico da ANP ao evidenciar seu papel na fiscalização, aprovação e direcionamento de projetos de PD&I no setor de O&G. Os autores destacam a Resolução nº 50/2015, como um dos principais instrumentos utilizados pela agência reguladora para assegurar que os recursos obrigatórios sejam aplicados em projetos de relevância econômica e ambiental. Assim, a ANP não apenas atua como reguladora, mas, também como catalisadora da sustentabilidade no setor, contribuindo para mitigar o paradoxo entre inovação tecnológica e preservação ambiental, ao direcionar investimentos em projetos em áreas críticas da transição energética.

Análise dos projetos da ANP

A atuação da ANP, por meio da cláusula de PD&I, tem se mostrado um instrumento

fundamental na promoção da sustentabilidade ambiental no setor de O&G, especialmente frente aos desafios impostos pela transição energética. Diversos projetos vêm sendo desenvolvidos com recursos provenientes da cláusula, trazendo contribuições significativas não apenas do ponto de vista tecnológico, mas no tocante a responsabilidade ambiental e a eficiência operacional. Nesta subseção, serão apresentados projetos representativos que combinam inovação tecnológica com objetivos estratégicos de transição energética e mitigação de impactos ambientais, demonstrando a aplicabilidade prática das políticas e diretrizes previamente discutidas.

Entre esses projetos destaca-se o *Software* ALINE, desenvolvido pela petroleira Eneva com recurso da cláusula de PD&I. Ele utiliza inteligência artificial para otimizar a análise de dados geológicos, contribuindo para decisões mais precisas, seguras e ambientalmente responsáveis (ENEVA, 2020).

Outro projeto relevante é a plataforma GIS CCUS Brasil, desenvolvida com apoio da Petrobras via cláusula de PD&I. A iniciativa reúne dados estratégicos sobre captura e armazenamento de carbono (CCUS), apoiando políticas públicas de descarbonização e contribuindo para a transição energética nacional (IPR, 2023).

Na mesma linha, o Atlas de Armazenamento de CO₂, lançado em 2023 com apoio da ANP e Petrobras, reúne dados técnicos sobre a viabilidade do armazenamento geológico de carbono no Brasil, contribuindo para projetos de captura e sequestro de carbono e para transição energética (Agência Petrobras, 2024).

Entre as inovações recentes, destaca-se o lançador automático de PIG submarino, desenvolvido pela parceria entre Total Energies, Equinor e a NOV *Flexibles* com apoio da ANP. Essa tecnologia automatiza a limpeza e inspeção de dutos submarinos em águas profundas e aumenta a segurança operacional. A inovação foi reconhecida com o prêmio da ANP, destacando sua relevância para o setor (Revista Digital Oil & Gás Brasil, 2024).

Os projetos listados evidenciam a relevância da engenharia nacional e sua valorização pela ANP, direcionada principalmente para um maior comprometimento socioambiental e por meio do fomento de soluções que reduzam a emissão de carbono, além de aumentarem a segurança e confiabilidade logística que envolve essas indústrias.

Esses exemplos ilustram como os recursos vinculados à cláusula de PD&I têm sido canalizados para o desenvolvimento de soluções que não apenas otimizam a produtividade da cadeia de O&G, mas contribuem para a sustentabilidade ambiental e a modernização industrial. Os projetos analisados reforçam o papel da ANP como articuladora de políticas públicas que integram ciência, tecnologia e compromisso ambiental, consolidando a inovação como vetor estratégico para a transição energética no Brasil.

Políticas de Sustentabilidade e Inovação no Setor e O&G no Brasil

Nas últimas décadas, o Brasil tem avançado na criação de políticas voltadas à sustentabilidade e à inovação, especialmente no setor de O&G, considerado estratégico para a economia nacional. No entanto essas iniciativas ainda enfrentam entraves significativos. De acordo com Leal & Figueiredo (2021), as políticas de inovação no Brasil ainda estão majoritariamente restritas ao ambiente universitário, com uma visão centrada da oferta e marcada por expectativas de resultados em curto prazo. Essa abordagem linear de progresso tecnológico tende a ser ineficiente, sobretudo diante da necessidade de articulação mais robusta entre universidades, empresas e o poder público, tripé essencial para o sucesso de políticas sustentáveis.

Silva (2014) complementa esse diagnóstico ao apontar que, embora o país possua um arcabouço jurídico sólido para o incentivo à inovação e à sustentabilidade, a articulação institucional permanece limitada. Apesar do marco legal favorável, a ausência de políticas de governança eficazes e a abordagem tecnocrática da inovação, frequentemente desvinculada das

dimensões sociais e ambientais, limitam a efetividade das ações. Mesmo com o crescimento da produção científica voltada para o setor energético, as exigências do mercado e a pressão por resultados financeiros imediatos dificultam a consolidação de práticas sustentáveis.

Sousa & Gomes (2022) destacam que, apesar das iniciativas voltadas à inovação ambiental, essas frequentemente colidem com interesses consolidados de grandes grupos econômicos, gerando um paradoxo entre o discurso sustentável e as práticas industriais. Nesse contexto, Corder & Buainain (2013) chamam atenção para a eficácia na conversão de mecanismos financeiros, subsídios e isenções fiscais em resultados concretos para o mercado. O sistema nacional de inovação continua enfrentando desafios estruturais, como fragmentação, concentração industrial e baixa integração entre atores, o que compromete seu potencial.

Essa fragilidade é ainda mais evidente no contexto energético. Isfer (2021) aponta uma contradição nas diretrizes do governo brasileiro que ao mesmo tempo em que promove a exploração de recursos fósseis, reconhece a urgência em enfrentar as mudanças climáticas. Para a autora, é fundamental adotar uma abordagem que integre a inovação tecnológica a uma transição energética justa e planejada. Esse movimento requer não apenas apoio financeiro, mas também estabilidade regulatória, governança eficaz e um alinhamento institucional que fortaleça a articulação entre progresso econômico e responsabilidade ambiental.

De forma análoga, Turchi & Morais (2017) reforçam esse argumento ao observarem que, embora o país conte com instrumentos legais como a Lei do Bem, os Fundos Setoriais de C&T e a Lei de Inovação, os resultados em termos de produtividade e impactos ainda são limitados. A criação de novas políticas de inovação precisa estar mais orientada a resultados concretos e adaptada a setores estratégicos, como o de energia e meio ambiente. Nesse contexto, o desafio não está apenas na existência de políticas, mas na sua capacidade de serem aplicadas de forma coordenada e eficaz, rompendo com a fragmentação institucional que hoje prevalece.

Iniciativas como o CT-Petro, o PROMINP e o Inova Petro, são exemplos de esforços significativos para estimular a inovação tecnológica no setor de O&G no Brasil. O CT-Petro (Comitê Gestor Fundo Setorial de Petróleo e Gás Natural) financia projetos de PD&I, buscando desenvolvimento tecnológico e capacitação de recursos humanos. O PROMINP (Programa de Mobilização da Indústria Nacional de Petróleo e Gás Natural) visa maximizar a participação nacional na cadeia de valor do setor, promovendo competitividade. O Inova Petro foca em fomentar PD&I, visando desenvolvimento de fornecedores para a cadeia produtiva do setor de O&G. Esses programas, somados a cláusulas contratuais específicas, constituem um aparato importante para o fomento à pesquisa e ao desenvolvimento. No entanto, segundo Vitto (2020), essas ações continuam limitadas por barreiras institucionais e políticas, o que reforça a ideia de que o sucesso não pode depender apenas do financiamento, mas exige também ambientes institucionais comprometidos, eficientes e estáveis.

Em síntese, embora o Brasil disponha de instrumentos relevantes e de uma base normativa favorável à sustentabilidade e à inovação, os avanços seguem comprometidos por problemas estruturais, pela falta de articulação entre atores e por tensões entre interesses econômicos e ambientais. Superar essas barreiras implica repensar o modelo atual e fortalecer as capacidades institucionais de modo que o setor de O&G possa efetivamente contribuir para uma transição energética mais justa, equilibrada e inovadora.

Paradoxo entre inovação e sustentabilidade no setor de O&G

A correlação entre inovação e sustentabilidade tem se estreitado nas últimas décadas, exigindo uma abordagem integrada para atender às demandas de modernidade. Vaz & Uriona (2019) apontam que, ainda que esses dois conceitos tenham se desenvolvido de forma independente, as crescentes pressões sociais, ambientais e econômicas, impõem a necessidade

de desenvolvimento de produtos, processos ou modelos organizacionais que, ao mesmo tempo em que geram benefícios econômicos, estejam alinhados às pautas ambientais contemporâneas.

Para os mesmos autores, a ecoinovação surge como uma resposta concreta a esse paradoxo. Ferramentas como o *ecodesign*, logística reversa e análise de ciclo de vida de produtos se mostram especialmente relevantes no setor de O&G, por contribuírem com a inserção de práticas sustentáveis no ambiente empresarial. Vaz & Uriona (2019) ressaltam que o desenvolvimento futuro dependerá de uma boa sinergia entre políticas públicas, consciência ambiental e gestão organizacional, pois os avanços tecnológicos, por si só, não são suficientes para construção de um modelo econômico sustentável.

Esse paradoxo entre progresso técnico e impacto ambiental também é observado no Brasil. Leal & Figueiredo (2021) argumentam que, apesar dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento, os ganhos em produtividade e eficiência permanecem tímidos, o que evidencia a ausência de estratégias organizacionais e políticas eficazes. No setor de O&G, tal contradição se acentua diante da urgência de incorporar tecnologias limpas sem comprometer a competitividade econômica. A isso soma-se a instabilidade jurídica que, segundo Silva (2014), dificulta a concretização das ideias de incentivo à inovação, ainda que o país possua um ordenamento jurídico robusto nessa área.

Essa tensão entre inovação e sustentabilidade é ainda mais complexa quando ao observar-se o cenário regulatório brasileiro. Moreira & D'Almeida (2019) destacam que empresas do setor energético enfrentam dificuldades para implementar tecnologias limpas em razão da necessidade de manter a sua produtividade e da complexidade tributária vigente.

Essa dualidade está presente na análise de Isfer (2021), que aponta para o dilema do setor energético, onde de um lado a exploração de petróleo e gás permanece vital para a economia, devido à natureza exportadora de petróleo do país; de outro, cresce a pressão internacional e interna por uma transição energética de baixo carbono. A autora destaca ainda, que embora programas da ANP, como os leilões de incentivo à exploração, avancem, torna-se urgente a conciliação desses interesses com investimentos em fontes renováveis e soluções industriais sustentáveis.

Esse embate entre inovação e sustentabilidade pode, inclusive, ser abordado por uma perspectiva filosófica. Moraes (2021), ao retornar à teoria da destruição criativa de Joseph Schumpeter (1982), relembra que o rompimento de paradigmas industriais está intrinsecamente ligado à introdução de novas tecnologias. Esse processo, embora essencial para a renovação econômica, tende a gerar obsolescência tecnológica e impactos sociais e ambientais. No caso do setor de O&G, historicamente vinculado à exploração intensiva de combustíveis fósseis, a busca por eficiência econômica nem sempre esteve alinhada a compromissos com a sustentabilidade ambiental.

Essa crítica ganha profundidade com os estudos de Freeman (1987), que ampliou o conceito de inovação ao incluí-lo no escopo dos sistemas nacionais, considerando o papel de políticas públicas, instituições e contextos sociais no progresso tecnológico. Essa abordagem é especialmente pertinente para setores como o de O&G, pois evidencia que o desenvolvimento tecnológico deve vir acompanhado de um comprometimento estrutural com sustentabilidade. Farjat & Salgueiro (2020) com base na teoria das trajetórias tecnológicas de Dosi (1982), acrescentam que o progresso tecnológico segue paradigmas estruturais e tecnológicos que podem aprisionar setores tradicionais, como o energético, em modelos extrativistas, dificultando a transição para tecnologias limpas, como as energias híbridas, captura de carbono e reaproveitamento de resíduos.

Essa tensão constante entre inovação técnica e responsabilidade ambiental, sobretudo em setores estratégicos, como o de exploração energético, coloca em evidência a necessidade

de um novo pacto regulatório. Por um lado, existe a pressão por inovação e aumento da competitividade econômica, por outro, há uma demanda urgente por redução da emissão de poluentes e uso mais racional dos recursos naturais. Nesse sentido Silva & Nahur (2022), inspirados na filosofia da responsabilidade de Hans Jonas (2022), alertam que esse paradoxo exige das empresas compromisso ético ampliado. Diante das consequências irreversíveis das ações humanas sobre o planeta, torna-se imprescindível um modelo de governança que priorize, além da eficiência econômica, a integridade ecológica, especialmente no setor de O&G, cuja atuação pode ampliar significativamente os riscos ambientais.

A análise indica que a inovação e sustentabilidade coexistem de forma tensa, mas complementar. Enquanto a inovação busca eficiência e competitividade, a sustentabilidade exige mudanças estruturais e compromissos éticos. No entanto, quando bem articuladas por mecanismos institucionais, como a cláusula de PD&I da ANP, essas agendas podem convergir, desde que sustentadas por políticas integradas e governança eficaz.

CONCLUSÃO

O presente artigo buscou analisar o paradoxo entre inovação tecnológica e sustentabilidade ambiental no setor de O&G, com base em uma revisão bibliográfica focada em projetos recentes financiados pela cláusula de PD&I da ANP. A análise evidenciou que, embora o setor avance continuamente no desenvolvimento de tecnologias que ampliam sua eficiência e competitividade, ainda enfrenta obstáculos consideráveis para alinhar esses avanços às exigências de um modelo produtivo mais sustentável.

A literatura demonstrou que essa tensão decorre, em grande medida, da lógica histórica que rege o setor, ou seja, um modelo extrativista focado no retorno econômico de curto prazo, pouco compatível com a temporalidade e os investimentos requeridos por estratégias sustentáveis. Autores como Vaz & Uriona (2019), Leal & Figueiredo (2021) e Isfer (2021) apontam que superar esse impasse exige não apenas inovação no sentido técnico, mas também mudanças estruturais nas políticas públicas, nos modelos de gestão empresarial e na regulação ambiental.

Diante disso, retoma-se a pergunta central desta pesquisa: De que forma as empresas podem assegurar sua competitividade e adoção de novas tecnologias sem colocar em risco seus compromissos com as políticas de proteção ambiental? A resposta, conforme indicam os dados e autores analisados, reside na integração entre inovação tecnológica e planejamento estratégico orientado para a sustentabilidade. Isso implica utilizar a tecnologia não apenas para aumentar a eficiência, mas também como aliada na mitigação de impactos ambientais, na transição para energias limpas, na redução de emissões e no uso racional dos recursos naturais. Os dados apresentados mostram que a ANP ao fomentar projetos por meio da cláusula de PD&I, representa um canal institucional relevante para conectar ciência, mercado e política. No entanto, conforme argumentam autores como Silva (2014) e Moreira & D'Almeida (2019), há ainda um descompasso entre o volume de investimentos e a efetividade desses projetos em gerar transformações sustentáveis concretas. Isso se deve, em parte, à instabilidade regulatória, à complexidade tributária e à ausência de uma visão sistêmica integrada entre os diversos atores envolvidos.

Dessa forma, conclui-se que o equilíbrio entre inovação e sustentabilidade no setor de O&G não é apenas um desafio técnico, mas sim um dilema estrutural e estratégico que demanda comprometimento ético, governança clara e políticas públicas coerentes e duradouras. A inovação, portanto, não deve ser encarada como oposta à sustentabilidade, mas sim como uma ferramenta essencial para sua concretização, desde que orientada por critérios ambientais, sociais e econômicos convergentes.

Os projetos de PD&I da ANP, nesse contexto, podem ser considerados pontos de inflexão importantes para a transição do setor rumo a práticas mais limpas e resilientes. O futuro dependerá da capacidade das empresas em incorporar soluções tecnológicas sustentáveis como parte de sua estratégia competitiva, respeitando os limites ambientais e contribuindo para um desenvolvimento de longo prazo mais justo e equilibrado.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA PETROBRAS. Petrobras lança ferramenta digital que incentiva o abatimento de emissões de CO₂. 12 ago. 2024. Disponível em: <https://agencia.petrobras.com.br/w/inovacao/petrobras-lanca-ferramenta-digital-que-incentiva-o-abatimento-de-emissoes-de-co2>. Acesso em: 13 maio 2025.

CORDER, Solange; BUAINAIN, Antonio Márcio. O financiamento à inovação no Brasil. *ComCiência*, n. 150, Campinas, jul. 2013.

DOSI, Giovanni. **Technological paradigms and technological trajectories**: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*, v. 11, n. 3, p. 147–162, 1982.

ENEVA. Eneva e Instituto Tecgraf da PUC-Rio desenvolvem software com recurso de PD&I da ANP. 17 jul. 2020. Disponível em: <https://eneva.com.br/noticias/eneva-e-instituto-tecgraf-da-puc-rio-desenvolvem-software-com-recurso-de-pdi-da-anp-2/>. Acesso em: 12 maio 2025.

ETZKOWITZ, Henry; ZHOU, Chunyan. Hélice Tríplice: inovação e empreendedorismo universidade-indústria-governo. *Estudos Avançados*, v. 31, n. 90, p. 23-48, 2017.

FARJAT, Marcelo José García; SALGUERO, Sergio Walter. Un análisis crítico del cambio tecnológico desde la perspectiva de Giovanni Dosi: trayectorias y paradigmas tecnológicos. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad-CTS*, v. 15, n. 43, p. 91-108, 2020.

FREEMAN, Christopher. **Technology and Economic Performance**: Lessons from Japan. London: Pinter, 1987.

GALIAZZI, Guilherme de Souza. Hidrogênio no Brasil: uma análise do Programa Nacional do Hidrogênio e dos Projetos de Lei nº 725/2022 e 1.878/2022 à luz dos parâmetros estabelecidos pela IRENA e da Estratégia Nacional Alemã do Hidrogênio. 2023. Monografia (Bacharelado em Direito) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

INSTITUTO DO PETRÓLEO E DOS RECURSOS NATURAIS (IPR). Plataforma GIS CCUS Brasil. Porto Alegre: PUCRS, 2023. Disponível em: <<https://www.pucrs.br/ipr/plataforma-gis-ccus-brasil/>>. Acesso em: 13 maio 2025.

ISFER, Renata Beckert. O petróleo e o paradoxo da sereia. *FGV Energia, Opinião*, mar. 2021.

JONAS, Hans. **O princípio responsabilidade**: ensaio de uma ética para a civilização tecnológica. Tradução de Marijane Lisboa e Luiz Barros Montez. Rio de Janeiro: Contraponto; Ed. PUC-Rio, 2006.

KIVIMAA, Paula; KERN, Florian. Creative destruction or mere niche support? Innovation policy mixes for sustainability transitions. *Research Policy*, [S.l.], v. 45, n. 1, p. 205–217, 2016.

LEAL, Carlos Ivan Simonsen; FIGUEIREDO, Paulo N. Inovação tecnológica no Brasil: desafios e insumos para políticas públicas. *Revista de Administração Pública*, Rio de Janeiro, v. 55, 3, p. 512–537, maio/jun. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-761220200583>.

LUNDVALL, Bengt-Ake (Ed.). **National Systems of Innovation**: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning. London: Pinter Publishers, 1992.

MORAES, Antonio Carlos de. Destruição criativa: a tese de Schumpeter sobre a decomposição do capitalismo. *Pesquisa e Debate*, São Paulo, v. 33, n. 1(59), p. 47–84, 2021. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/pesquisaedebate/article/view/54194>. Acesso em: 20/05/25.

MOREIRA, J. F. M.; D'ALMEIDA, A. L. Indústria de petróleo e gás: análise comparativa da legislação ambiental dos EUA e Brasil. *The Journal of Engineering and Exact Sciences – JCEC*, v. 5, n. 2, p. 174–188, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/ojs/jcec>. Acesso em: 05/05/2025.

NASCIMENTO, Annyeli Damião; SILVA, Clayton Ferreira Costa da; OLIVEIRA, Eliel Prueza de; TOLEDO, Flávio Barbosa. Análise da atuação de ecossistemas de inovação em prol de soluções tecnológicas sustentáveis no setor de óleo e gás. In: *ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 42., 2022, Foz do Iguaçu. Anais [...]. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2022.

PEREIRA, Christiano Lins; CARVALHO, Marina Portella de. Análise dos projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação na indústria de óleo e gás. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Química e de Petróleo, Niterói, RJ, 2018.

REVISTA DIGITAL OIL & GAS BRASIL. São Paulo: MJB Editores Associados, ed. mensal, ano 2024. Disponível em: <https://fpsosexpor.com.br/>. Acesso em: 23 maio 2025

ROCHA, Leandro Diniz Brandão. Avaliação do impacto das pesquisas no setor de óleo e gás: Um estudo as práticas das pesquisas financiadas pela cláusula dos contratos de concessão junto às entidades de ensino e pesquisa. 2019. Dissertação de Mestrado – Fundação Getulio Vargas, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10438/28613>. Acesso em: 02/05/2025.

SCHUMPETER, Joseph A. **Capitalismo, socialismo e democracia**. Rio de Janeiro: Zahar, 1982.

SILVA, Edson Schrot da. O sistema brasileiro da inovação e seus desafios perante questões políticas, econômicas e sociais. 2014. 144 f. Dissertação (Mestrado em Direito Político e Econômico) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2014.

SILVA, Jefferson; NAHUR, Marcius Tadeu Maciel. Desafios a uma ética ecológica da sustentabilidade: a visão de Paul Ricoeur a partir do imperativo da responsabilidade de Hans Jonas. *Revista Direito & Consciência*, v. 1, n. 2, 2022.

SOUSA, Rafael Demetrius Rodrigues de; GOMES, Edvânia Torres Aguiar. Indústria do petróleo e sustentabilidade: mapeamento científico. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 7, e52811730298, 2022.

TURCHI, Lenita Maria; MORAIS, José Mauro. Políticas de apoio à inovação tecnológica no Brasil: avanços recentes, limitações e propostas de ações. Brasília: Ipea, 2017. 485 p. ISBN 978-85-7811-307-0.

VAZ, C. R.; URIONA, M. Inovação e sustentabilidade: origem, evolução e desafios. *REP – Revista de Engenharia de Produção*, Campo Grande, MS, v. 1, n. 1, p. 07–28, jul./dez. 2019.

VITTO, William Adrian Clavijo. Capacidades estatais para políticas industriais: a experiência brasileira no setor de petróleo e gás. 2020. Tese (Doutorado em Políticas Públicas, Estratégias desenvolvimento) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.