



Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
Departamento de Engenharia Ambiental



Nalberth Vicentin Santana

**Diagnóstico de desempenho ambiental do segmento
upstream da indústria brasileira de petróleo *offshore***

Ouro Preto

2026

Nalberth Vicentin Santana

Diagnóstico de desempenho ambiental do segmento
upstream da indústria brasileira de petróleo *offshore*

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Ambiental como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de
Engenheiro Ambiental na Universidade
Federal de Ouro Preto.

Orientador: Dr. Rodson de Abreu Marques

Ouro Preto

2026

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S232d Santana, Nalberth Vicentin.
Diagnóstico de desempenho ambiental do segmento upstream da indústria brasileira de petróleo offshore. [manuscrito] / Nalberth Vicentin Santana. - 2026.
50 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Rodson de Abreu Marques.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Ambiental .

1. Indústria offshore de petróleo. 2. Gestão ambiental. 3. Desenvolvimento sustentável. 4. Sustentabilidade e meio ambiente. I. Marques, Rodson de Abreu. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 504:004

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - CRB6/2322



FOLHA DE APROVAÇÃO

Nalberth Vicentin Santana

Diagnóstico de desempenho ambiental do segmento upstream da indústria brasileira de petróleo offshore

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental

Aprovada em 04 de março de 2026

Membros da banca

Doutor - Rodson de Abreu Marques - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
Doutor - Danton Heleno Gameiro - (Universidade Federal de Ouro Preto)
Doutor - Máximo Eleotério Martins - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Rodson de Abreu Marques, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 05/03/2026



Documento assinado eletronicamente por **Rodson de Abreu Marques, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/03/2026, às 19:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1070343** e o código CRC **D3318DBA**.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo diagnosticar a sustentabilidade do segmento upstream da indústria de petróleo offshore no Brasil, avaliando práticas e planejamentos estratégicos de empresas atuantes no país. A pesquisa baseou-se na análise de relatórios de sustentabilidade de oito empresas, utilizando como referência as diretrizes da IPIECA, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com foco em ações ambientais, sociais e de governança (ESG). Os resultados indicam avanços significativos em compromissos públicos de descarbonização e gestão ambiental, como metas de neutralidade de emissões e redução de resíduos. No entanto, persistem lacunas relevantes: ausência de dados sistemáticos sobre bioacumulação de poluentes em cadeias tróficas marinhas, mensuração insuficiente dos impactos socioeconômicos sobre comunidades pesqueiras e foco restrito na transição energética, com pouca atenção a substitutos para derivados não energéticos do petróleo. A gestão ambiental ainda opera predominantemente de forma reativa, voltada à conformidade regulatória, em detrimento de abordagens preventivas e ecossistêmicas. A análise demonstra que, embora haja progressos, o setor precisa internalizar os custos ambientais como vetor estratégico de inovação e diversificação de negócios, incorporando o princípio do poluidor-pagador de forma mais ambiciosa. Além disso, a expansão às novas fronteiras necessita cautela, considerando as lições em outros casos de ecossistemas únicos e comunidades tradicionais que evidenciam riscos de danos irreversíveis.

Palavras-chaves: Petróleo *offshore*, Governança socioambiental, Relatórios de sustentabilidade, Alternativas sustentáveis.

ABSTRACT

Assessment of the environmental performance of the the Brazilian offshore oil industry's upstream sector

This study aimed to diagnose the sustainability of the upstream segment of the offshore oil industry in Brazil, evaluating the practices and strategic planning of companies operating in the country. The research was based on the analysis of sustainability reports from eight companies, using IPIECA guidelines, the Sustainable Development Goals (SDGs) as a reference, with a focus on environmental, social and governance (ESG) actions. The results indicate significant advances in public commitments to decarbonisation and environmental management, such as emissions neutrality and waste reduction targets. However, significant gaps remain: lack of systematic data on the bioaccumulation of pollutants in marine food chains, insufficient measurement of socio-economic impacts on fishing communities, and a narrow focus on energy transition, with little attention to substitutes for non-energy petroleum products. Environmental management still operates predominantly in a reactive manner, focused on regulatory compliance, to the detriment of preventive and ecosystemic approaches. The analysis shows that, although progress has been made, the sector needs to internalise environmental costs as a strategic driver of innovation and business diversification, incorporating the polluter pays principle in a more ambitious way. Furthermore, expansion into new frontiers requires caution, considering the lessons learned in other cases involving unique ecosystems and traditional communities that highlight the risks of irreversible damage.

Keywords: Offshore oil, Environmental social governance, Sustainability reports, Sustainable alternatives.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Cadeia de valor do setor de óleo e gás natural | 2 |
| Figura 2 – Processo de refinamento do petróleo..... | 3 |
| Figura 3 – Bacias sedimentares, campos produtores de petróleo e gás naturais e áreas em estudo para exploração no Brasil | 5 |
| Figura 4 – Cenários multi-Hubbert para a produção de petróleo no Brasil considerando o pré-sal comparadas à produtividade observada e capacidade estimada dos demais campos produtores..... | 6 |
| Figura 5 – Tipologias principais de plataformas de petróleo <i>offshore</i> | 8 |
| Figura 6 – Exemplo de prospecção sísmica, onde (a) um navio emite o pulso e o segundo reboca os receptores e (b) seção obtida para o poço produtor Bozi1 na bacia Tarim | 9 |
| Figura 7 – Sobreposição entre as atividades de exploração petrolífera e a pesca artesanal nas regiões costeiras pelo mundo | 13 |
| Figura 8 – Exemplo de composição das emissões presentes na água produzida | 14 |
| Figura 9 – Tópicos das ODSs correlacionados com a indústria de petróleo e gás ... | 17 |
| Figura 10 – Intensidade das emissões de gases de efeito estufa entre as duas companhias avaliadas..... | 25 |
| Figura 11 – Corrente de interação entre os sistemas de recifes brasileiros e caribenhos | 35 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Correlação entre a norma GRI 11 (2024) e as ações IPIECA (2021) e cumprimento dos temas materiais por parte das empresas avaliadas..... | 21 |
| Tabela 2 – Ações IPIECA (2021) identificadas nos relatórios corporativos..... | 22 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| ANP | Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis |
| BTEX | Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| CL50 | Concentração letal para 50% dos organismos |
| CE50 | Concentração efetiva com efeitos subletais para 50% dos organismos |
| ESG | <i>Environmental, Social and Governance</i> |
| GEE | <i>Gases de Efeito Estufa</i> |
| GRI | <i>Global Reporting Initiative</i> |
| GSSB | <i>Global Sustainability Standards Board</i> |
| HPA | Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos |
| IBGE | <i>International Organisation for Standardization</i> |
| IPIECA | <i>International Petroleum Industry Environmental Conservation Association</i> |
| ISCC | <i>International Sustainability and Carbon Certification</i> |
| ISO | <i>International Organisation for Standardization</i> |
| OECD | <i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i> |
| ODS | Objetivo do Desenvolvimento Sustentável |
| OGMP | <i>Oil and Gas Methane Partnership</i> |
| PDCA | <i>Plan-Do-Check-Act</i> |
| PEA | Programa de Educação Ambiental |
| QL | Quociente locacional |
| TAC | Termo de Ajustamento de Conduta |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | PRODUÇÃO <i>OFFSHORE</i> NO BRASIL | 5 |
| 2 | OBJETIVOS | 7 |
| 2.1 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 7 |
| 3 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 8 |
| 3.1 | TIPOS DE PLATAFORMAS | 8 |
| 3.2 | ETAPA SÍSMICA | 9 |
| 3.3 | OPERAÇÃO DE PERFURAÇÃO DE POÇOS..... | 9 |
| 3.3.1 | Sistema de circulação | 10 |
| 3.3.2 | Sistema de segurança de poço..... | 10 |
| 3.4 | OPERAÇÃO DE EXTRAÇÃO..... | 10 |
| 3.5 | ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS DIRETAMENTE RELACIONADOS AO SETOR | 11 |
| 3.5.1 | Impactos ambientais e sociais na zona costeira | 12 |
| 3.5.2 | Impactos negativos à vida marinha..... | 13 |
| 3.6 | RELAÇÃO DO SETOR COM A SUSTENTABILIDADE | 16 |
| 4 | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 19 |
| 4.1 | PROCEDIMENTO DE ANÁLISE DOS RELATÓRIOS..... | 19 |
| 4.2 | APRESENTAÇÃO DE OPÇÕES PARA A GESTÃO AMBIENTAL DO SETOR..... | 20 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 21 |
| 5.1 | ANÁLISE DOS RELATÓRIOS DE SUSTENTABILIDADE DAS EMPRESAS ATUANTES NO BRASIL | 21 |
| 5.1.1 | Primeira dimensão: clima | 23 |

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.1.2 | Segunda dimensão: natureza | 25 |
| 5.1.3 | Terceira dimensão: pessoas | 26 |
| 5.1.4 | Outras ações ESG | 28 |
| 5.2 | LACUNAS EM RELAÇÃO AOS IMPACTOS AMBIENTAIS..... | 30 |
| 5.3 | TRANSIÇÃO MERCADOLÓGICA A NEGÓCIOS COM MENOR IMPACTO AMBIENTAL | 32 |
| 5.4 | IMPACTOS POTENCIAIS À FOZ DO RIO AMAZONAS | 33 |
| 5.4.1 | Alterações ambientais..... | 34 |
| 5.4.2 | Alterações socioeconômicas..... | 36 |
| 5.4.3 | Custo de oportunidade..... | 37 |
| 6 | CONCLUSÕES | 39 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 41 |
| | ANEXO A | 50 |

1 INTRODUÇÃO

O cenário de mudanças climáticas é um desafio global sem precedentes que exige ação imediata e conjunta de todas as partes interessadas, vide Objetivo 13 da Agenda de Desenvolvimento Sustentável, e seus impactos exercem efeitos profundos sobre indivíduos, comunidades e nações (Kahia; Omri, 2024). Em resposta, os esforços se estendem à redução das emissões de carbono com a transformação do setor industrial abrindo oportunidades econômicas. Especialmente um setor da indústria possui alto impacto econômico mundial e explora a matéria-prima que gera fontes energéticas e materiais indispensáveis ao cotidiano: o petróleo.

O setor de petróleo e gás natural não é apenas um contribuinte crucial para a renda dos países exportadores de petróleo, como também possui repercussões ambientais significativas (Kahia; Omri, 2024) no seu ciclo como produto. O segmento *upstream*, que engloba a exploração e a produção, prepara o terreno para o segmento *midstream*, responsável pela transmissão e o *downstream*, que entrega os produtos finais aos consumidores, formando a cadeia de valor industrial exemplificada na Figura 1. Globalmente, existem mais de 40.000 campos de petróleo, afetando aproximadamente 6 milhões de pessoas que vivem ou trabalham perto desses locais (O'callaghan-Gordo; Orta-Martínez; Kogevinas, 2016). Enquanto no mundo aproximadamente um quarto da produção é *offshore* (Andrews et al., 2021), no Brasil essa modalidade representa até 95%. Esses fatores demonstram a importância e o impacto ao promover transformações na base de toda a cadeia produtiva do petróleo, visto que as etapas *midstream* e *downstream* serão alteradas à medida que o foco do *upstream* migrar para produtos com menor pegada de carbono.

Ainda é preciso encontrar formas de conciliar o desenvolvimento industrial com a proteção ambiental (Mariano; La Rovere, 2009). Além disso, a transição para cenários mais sustentáveis objetivando a redução de gases de efeito estufa é uma mudança importante nos sistemas sociotécnicos do setor de petróleo e gás para aproximá-los das metas de sustentabilidade (Halttunen; Slade; Staffell, 2023), visto que ele figura entre os principais agentes poluidores, consumindo grandes quantidades de energia e água, gerando efluentes em larga escala, emitindo gases perigosos na atmosfera e produzindo resíduos sólidos de difícil tratamento e destinação (Mariano; La Rovere, 2009).

Figura 1 – Cadeia de valor do setor de óleo e gás natural



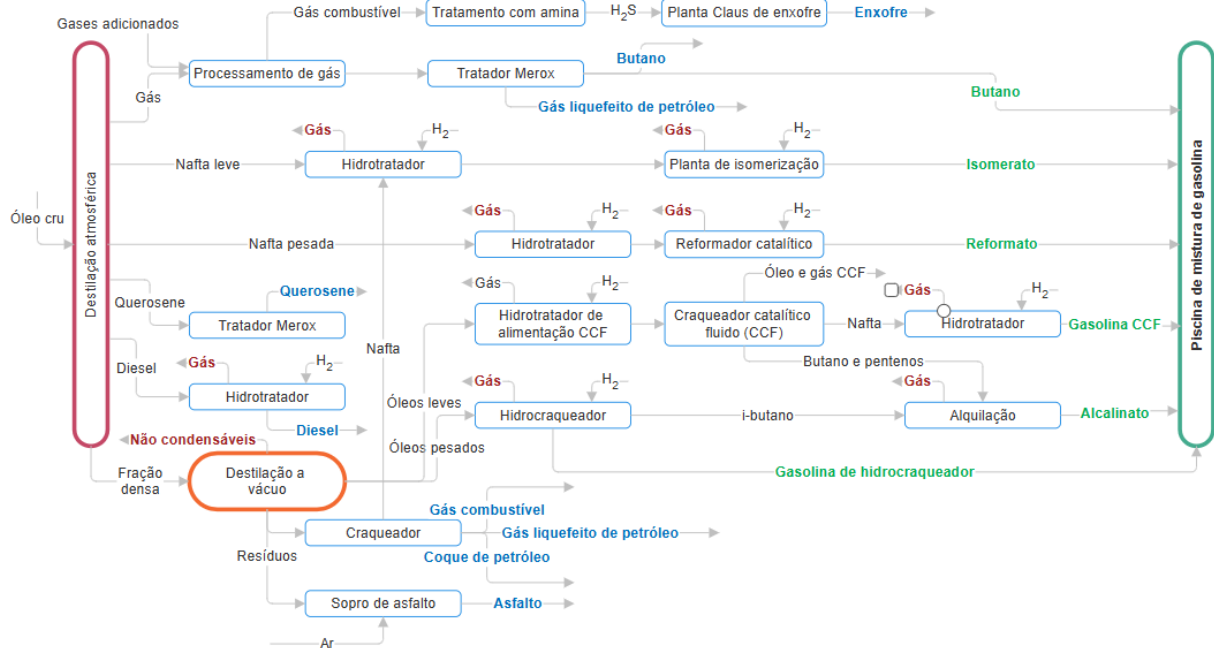
Fonte: Imagem gerada com o Gemini 3 Flash (2026).

O desenvolvimento energético mundial está entrando em um novo período histórico, em que a energia limpa e com baixo teor de carbono é inevitavelmente necessária (Zou et al., 2016). No combate às mudanças climáticas, as empresas internacionais produtoras de petróleo e gás começaram reconhecer seu papel nas e a investir em fontes de energia renováveis nos últimos anos. Assim, para que países de todo o mundo alcancem a segurança energética e a neutralidade de carbono, a transformação de baixo carbono do setor de petróleo e gás é crucial (Zhang et al., 2023). Existem diversas tecnologias que possibilitam a baixa emissão de carbono para o suprimento de energias. Apesar disso, uma linha estratégica de descarbonização do setor energético consiste na aplicação de energia nuclear ou captura de carbono, enquanto a outra foca no uso de fontes renováveis (Krey et al., 2014; Luderer et al., 2019).

Embora a transição para fontes de baixo carbono seja essencial, a indústria de petróleo e gás enfrenta desafios que vão além da questão energética. Os produtos do refinamento do petróleo (Figura 2) no segmento *downstream* têm aplicações não energéticas, como os compostos do asfalto e as naftas, as quais podem ser tratadas para se tornarem componentes combustíveis ou enviadas à indústria petroquímica para derivação em plásticos e resinas. Além disso, as operações de plataformas e o

relacionamento com a sociedade e políticas locais também são aspectos críticos para a sustentabilidade do setor. Portanto, as discussões sobre sustentabilidade na indústria petrolífera não podem se limitar à descarbonização da matriz energética, mas devem abranger também esses usos não energéticos e as práticas operacionais e sociais.

Figura 2 – Processo de refinamento do petróleo



Fonte: Adaptado de IFC (2016).

Apesar de seus potenciais riscos ambientais, a indústria petrolífera também exerce um papel social positivo, criando inúmeros empregos e gerando volume significativo de tributos e *royalties* para os governos. Diante disso, as empresas do setor podem obter ganhos ainda maiores e de naturezas diversas ao adotar estratégias ambientais proativas. No entanto, muitas companhias do ramo ainda não incorporam práticas de prevenção à poluição. Suas políticas ambientais orientam-se predominantemente para o cumprimento das normas estabelecidas pelos órgãos reguladores, o que reflete tanto uma cultura corporativa de controle no fim do processo, quanto uma postura reativa (Mariano; La Rovere, 2009), em que a gestão ambiental é tratada como uma etapa final, corretiva e isolada, e não como uma parte integrada e preventiva de todo o processo produtivo.

Nesse contexto, abordagens que permitam analisar de forma integrada os impactos ambientais ao longo de todo o processo produtivo tornam-se particularmente relevantes para o aprimoramento da gestão ambiental. A Avaliação Ambiental

Holística constitui um instrumento analítico orientado para objetivos que integra conhecimentos de diferentes fontes e disciplinas com o propósito de descrever de forma abrangente o risco ambiental total para a sociedade associado às diversas fases de produção de um bem ou prestação de um serviço. No âmbito da gestão ambiental, a abordagem holística dos aspectos ambientais da atividade busca qualificar, quantificar e priorizar os impactos gerados em cada etapa das atividades organizacionais, representando-os por meio de caminhos que evidenciam efeitos diretos, secundários, indiretos e cumulativos. Ao considerar tanto impactos efetivos quanto aqueles percebidos pela sociedade como motivo de preocupação, essa abordagem permite compreender os impactos ambientais como cadeias de causalidade iniciadas por atividades específicas e que envolvem dimensões da ciência ambiental, engenharia, economia e direito, contribuindo para que estratégias de mitigação adotadas em determinada fase do processo não resultem na intensificação de impactos em outras etapas (Salter; Ford, 2001).

No contexto da gestão ambiental as empresas emitem relatórios de sustentabilidade como instrumentos centrais de *accountability*: a apresentação à sociedade informações sobre suas políticas, ações e impactos socioambientais. Esses documentos assumem um papel relevante na mediação entre as organizações e seus diferentes públicos de interesse, contribuindo para a transparência corporativa e para a construção de legitimidade institucional. No entanto, a análise crítica desse tipo de material impõe desafios metodológicos significativos, uma vez que as informações divulgadas possuem caráter predominantemente autodeclaratório e são, em grande medida, produzidas e selecionadas pelas próprias organizações que as publicam, o que amplia o risco de vieses informacionais. Nesse cenário, podem ocorrer práticas de *cherry-picking*, caracterizadas pela seleção estratégica de dados, indicadores e iniciativas que reforçam uma imagem institucional positiva, enquanto aspectos controversos, resultados negativos ou limitações das políticas ambientais recebem menor destaque ou são omitidos.

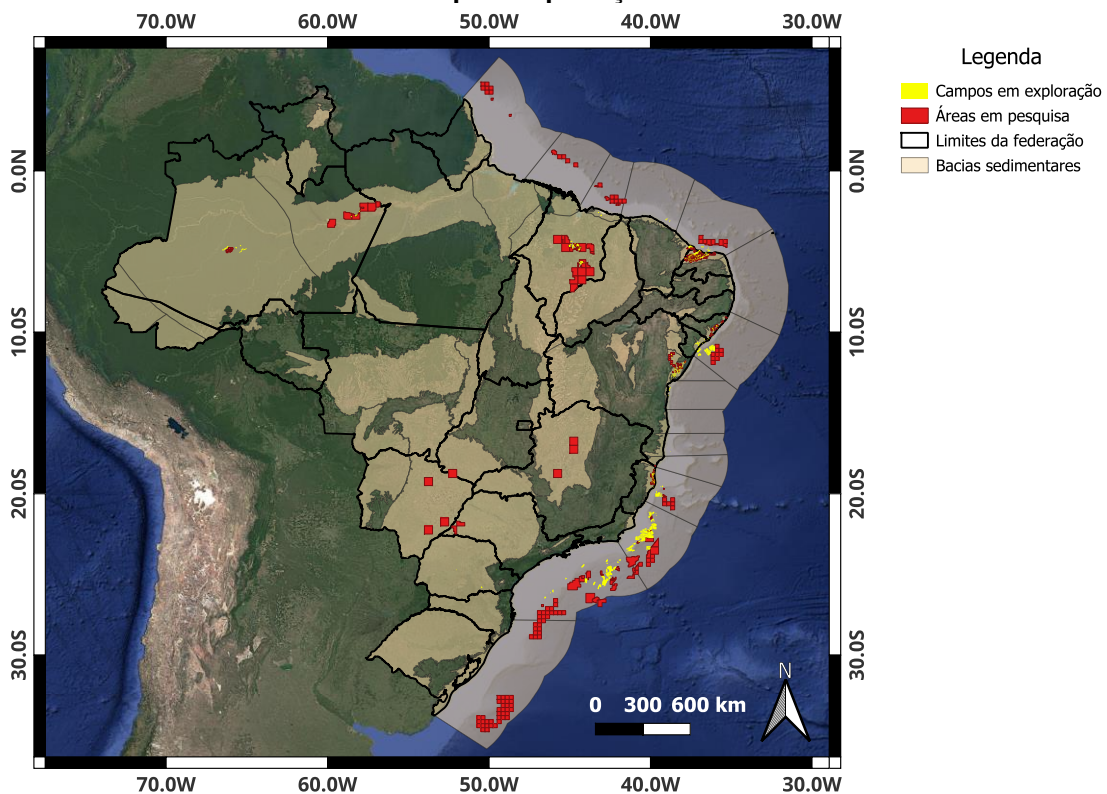
Assim sendo, empresas com maior nível de compromisso com a veracidade das informações utilizam de padrões para a produção dos relatórios de sustentabilidade, os quais norteiam a pergunta “o que divulgar?”, onde a norma *Global Reporting Initiative – GRI 11* da *Global Sustainability Standards Board – GSSB* (2024) é específica para o setor de petróleo e gás. Adicionalmente, a pergunta “o que fazer

para melhorar?” torna-se relevante e, assim, diretrizes como as da *International Petroleum Industry Environmental Conservation Association – IPIECA* (2021) ganham destaque para esta indústria.

1.1 PRODUÇÃO OFFSHORE NO BRASIL

No caso brasileiro, a produção de petróleo majoritariamente *offshore* (Figura 3), concentra-se no litoral sudeste e nordeste cujos maiores representantes são os estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e Rio Grande do Norte e São Paulo. Recentemente, as pesquisas visam avaliar a existência e viabilidade de reservas exploráveis na região sul, com a Bacia de Pelotas, e região norte com a Margem Equatorial.

Figura 3 – Bacias sedimentares, campos produtores de petróleo e gás naturais e áreas em estudo para exploração no Brasil

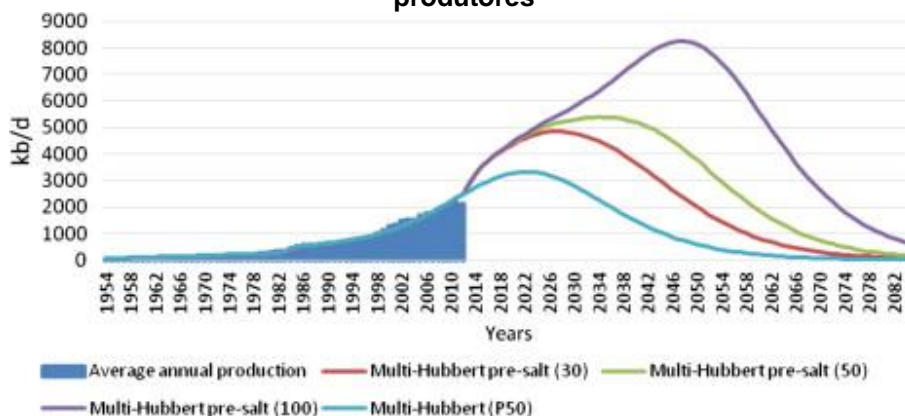


Fonte: Dados GeoMaps ANP (2025).

A pressão sobre as novas fronteiras possui respaldo em um fato: o petróleo, como todo recurso mineral finito, necessita de novas reservas viáveis para exploração de modo a estender a autossuficiência. Usando como exemplo as previsões com as curvas multi-Hubbert da Figura 4 realizadas por Saraiva et al. (2014), o cenário brasileiro sem a exploração do pré-sal mais confiável representa uma probabilidade

de 50% de que o total de recursos recuperáveis, considerando as reservas existentes e as que serão adicionadas, seja de 47,75 bilhões de barris ou mais. Nesse caso, o pico de produção era estimado em torno do ano de 2023. Ao considerar a contribuição do pré-sal de 30, 50 e 100 bilhões de barris, o pico de produtividade máxima é estimado para ocorrer entre 2026 e 2050.

Figura 4 – Cenários multi-Hubbert para a produção de petróleo no Brasil considerando o pré-sal comparadas à produtividade observada e capacidade estimada dos demais campos produtores



Fonte: Saraiva et al. (2014).

Apesar de ser economicamente vantajoso, a expansão da extração de recursos naturais fósseis é contrária aos esforços para a emergência climática e às críticas em relação ao retorno social do desenvolvimento dessas atividades econômicas. Contudo, os impactos socioambientais diversos dependem do tipo de plataforma instalada, a operação necessária e estratégia para o encerramento das operações.

2 OBJETIVOS

Diante desse cenário, o presente trabalho objetivou avaliar as práticas e o planejamento para melhorar o desempenho ambiental rumo à sustentabilidade da indústria brasileira exploração e produção de petróleo *offshore*.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os relatórios de sustentabilidade de empresas brasileiras de exploração de petróleo offshore com base nas diretrizes da IPIECA (2021) e GRI 11 (2024);
- Observar e discutir as práticas que visam a transição de mercado do setor à luz do Princípio do Poluidor Pagador;
- Apresentar os riscos e impactos das novas fronteiras de exploração a partir da abordagem holística da avaliação e gestão ambiental associada ao Princípio da Precaução.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

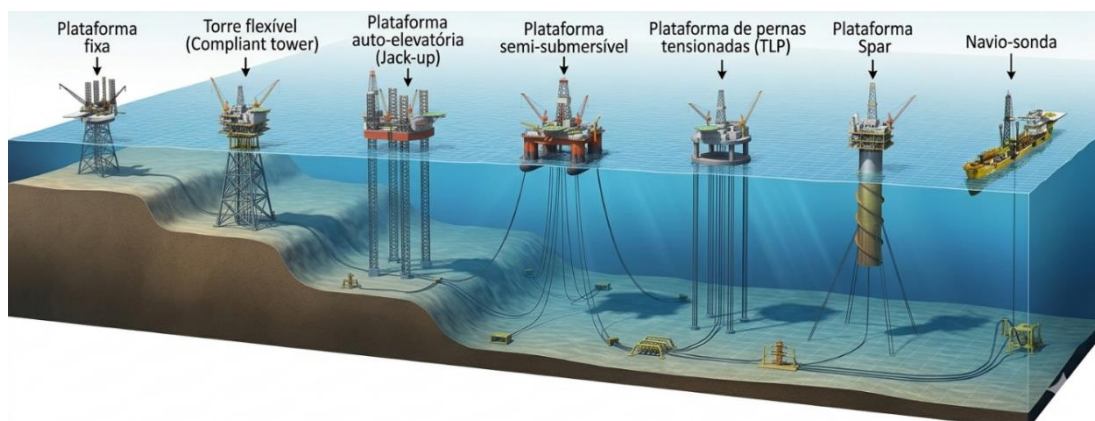
3.1 TIPOS DE PLATAFORMAS

Existem basicamente 7 classes de unidades de perfuração e exploração de poços de petróleo, variando de unidades fixas a flutuantes. O uso de cada uma está condicionado à lâmina d'água, relevo, condições do mar, finalidade do poço, apoio logístico e custo-benefício.

As plataformas fixas clássicas são estruturas moduladas em aço preferíveis para campos com lâmina d'água de até 300 m. Plataformas auto eleváveis são balsas com estruturas de apoio que possibilitam o ajuste para uma altura segura em relação ao nível do mar e utilizadas exclusivamente em áreas de plataforma continental com lâmina d'água de 5 a 130 m. As submersíveis, por sua vez, são estruturas montadas sobre flutuadores utilizadas exclusivamente em áreas de águas calmas as quais utilizam água de lastro para controlar o nível para que o fundo do casco esteja em contato com o substrato marinho (Thomas, 2001).

A plataforma flutuante clássica consiste em uma estrutura apoiada por colunas sobre flutuadores submersos e possui um raio de tolerância de operação devido a movimentações naturais induzidas por ondas e ventos. Os navios-sonda são embarcações equipadas especialmente para operações de perfuração de poços. Ambos possuem um sistema de ancoragem composto por 8 a 12 âncoras. A última classe de plataformas são as *tension leg*, caracterizada por uma estrutura similar à uma flutuante, porém fixada ao substrato oceânico por cabos de aço, proporcionando a ela a estabilidade de operação de uma plataforma fixa (Thomas, 2001). A Figura 5 exemplifica quatro das classes de plataformas citadas.

Figura 5 – Tipologias principais de plataformas de petróleo offshore

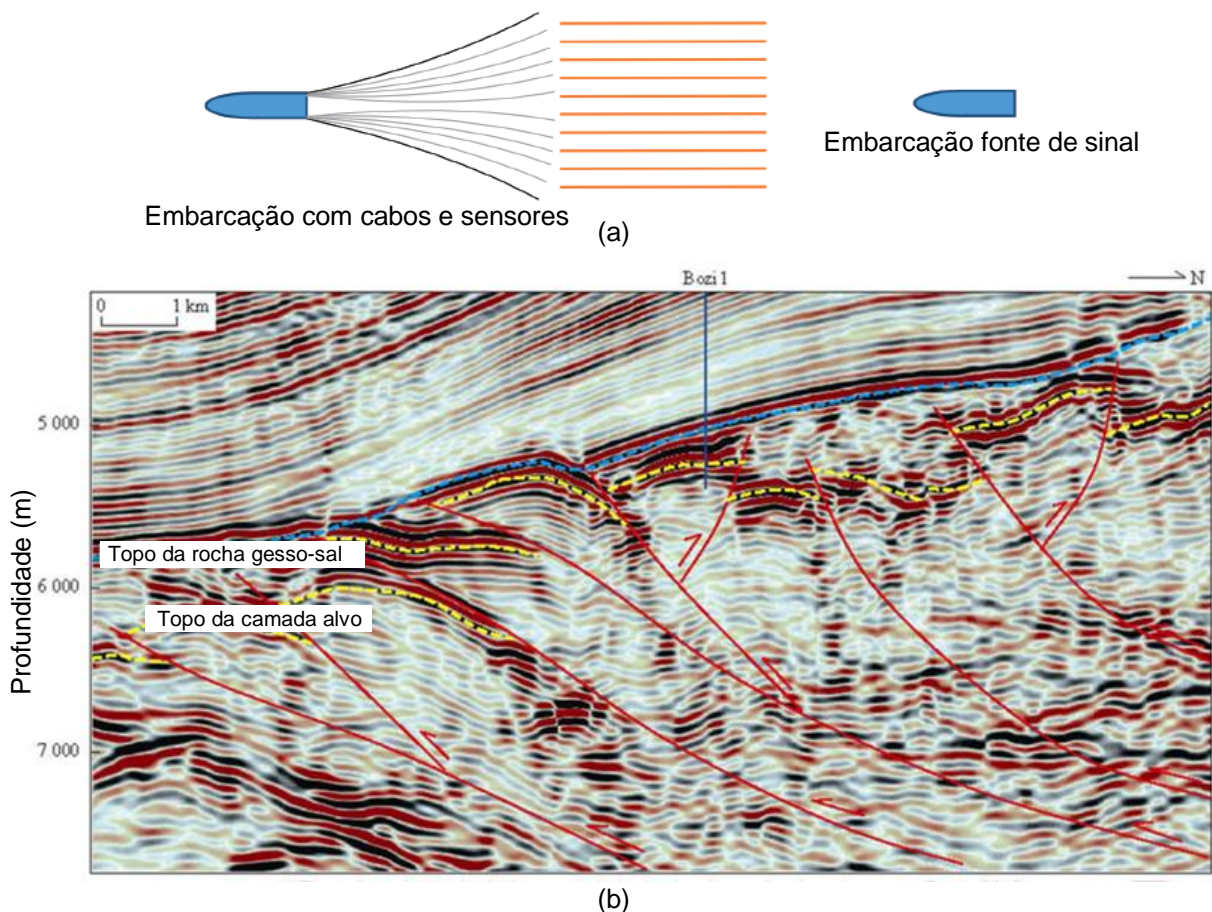


Fonte: Imagem gerada com o Gemini 3 Flash (2026).

3.2 ETAPA SÍSMICA

A etapa sísmica básica consiste em emitir pulsos de ondas compressivas e registrar os dados de reflexões em receptores posicionados em linha reta. É necessário estabelecer uma resolução horizontal e vertical, bem como a profundidade da subsuperfície objetivada para tratar os dados. Posteriormente, os dados são tratados em software para obter imagens as quais possibilita identificar as estruturas geológicas com prováveis reservas de petróleo e gás natural (Thomas, 2001), cujo exemplo é apresentado à Figura 6.

Figura 6 – Exemplo de prospecção sísmica, onde (a) um navio emite o pulso e o segundo reboca os receptores e (b) seção obtida para o poço produtor Bozi1 na bacia Tarim



Fonte: Sub imagens de (a) Xie et al. (2024) e (b) Sun et al. (2015).

3.3 OPERAÇÃO DE PERFURAÇÃO DE POÇOS

A perfuração de um poço é realizada em etapas, que envolve o uso de uma sonda com um sistema rotação-peso à broca, remoção de fragmentos por injeção de fluido, revestimento em aço e, por fim, a cimentação. Entretanto, os aspectos de alguns dos

sistemas envolvidos na etapa de perfuração geram altos volumes de resíduos ou são essenciais para evitar desastres ambientais.

3.3.1 Sistema de circulação

O sistema de circulação compõe a fase de injeção do fluido de perfuração, objetivando remover os detritos e fragmentos de rochas liberados e retornando uma lama destinada à fase de tratamento, a qual possibilita remover sólidos e gases incorporados para reaproveitar o fluido. A primeira fase do tratamento consiste em uma peneira vibratória para remover cascalhos e frações maiores, seguido de 2 a 4 hidrociclones para remoção de areias e 8 a 12 hidrociclones para remoção de siltes (Thomas, 2001).

Os gases removidos são destinados à queima, enquanto os sólidos e o fluido em composição não adequada para o reaproveitamento possuem rotas de descarte de acordo com a natureza do próprio fluido de perfuração: base aquosa, não aquosa e sintética.

3.3.2 Sistema de segurança de poço

Um sistema essencial para a etapa de perfuração é constituído pelos equipamentos de segurança de cabeça de poço, sendo o mais importante um conjunto de válvulas de fechamento do poço: o *blowout preventer*. O fechamento é acionado quando ocorre um fluxo indesejável para dentro do poço. Caso não seja contido, a consequência é um fluxo de saída sem controle que pode causar sérios danos aos equipamentos, risco à segurança da equipe, perda total ou parcial da perfuração e a liberação de um enorme volume de material no ambiente marinho (Thomas, 2001).

3.4 OPERAÇÃO DE EXTRAÇÃO

De todo o volume de um reservatório, apenas de 23 a 30% é recuperável por métodos convencionais. Em um primeiro momento, a energia natural é suficiente para deslocar o fluido pelo ponto de menor pressão formado pelo poço produtor perfurado. Em um segundo momento, é necessário injetar um fluido deslocante, água ou gás, para forçar a subida do óleo, existindo uma fração presa nos poros da rocha reservatório por capilaridade. Observado o declínio da produção, técnicas especiais

(ou não convencionais) de recuperação podem elevar a eficiência para até 70% de produção, os quais podem ser (Thomas, 2001):

- Térmicos: injeção de água aquecida ou a combustão parcial do óleo no reservatório para reduzir a viscosidade pelo aumento da temperatura;
- Miscíveis: injeção de dióxido de carbono, gás natural ou nitrogênio, os quais são fluidos com afinidade eletroquímica com o petróleo e, conseqüentemente, reduzem as tensões superficiais do óleo, facilitando o seu deslocamento;
- Químicos: injeção de fluidos poliméricos, tensoativos, solução alcalina ou microemulsões para alterar parcialmente as propriedades químicas do petróleo e facilitar a sua saída;
- Microbiológica: injeção de microrganismos capazes de produzir enzimas que causem os efeitos dos métodos miscíveis e químicos;
- Eletromagnético: induzir o aquecimento do óleo pela aplicação de diferença de potencial entre poços de exploração em um campo produtor;

Após o encerramento da produção pelo método de trabalho de uma empresa, o poço deve ser designado ao projeto de abandono. Quando há previsão de retorno das operações, o equipamento de superfície é mantido no local, caso contrário, sua remoção é realizada. Em ambos casos há a execução de tampões de cimento para impedir quaisquer fluxos de retorno dos fluidos presentes no poço (Thomas, 2001).

3.5 ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS DIRETAMENTE RELACIONADOS AO SETOR

A indústria de petróleo offshore, caracteriza-se por aspectos ambientais significativos inerentes às suas atividades, que podem gerar impactos relevantes sobre o meio marinho. Entre seus principais, estão o consumo intensivo de recursos hídricos e energéticos, a geração de efluentes (como a água produzida), a emissão de gases de combustão a partir de suas unidades de processo, a produção de resíduos sólidos e lama de perfuração, e o risco inerente de vazamentos ou derrames de hidrocarbonetos. Estes aspectos, se não propriamente gerenciados, podem gerar impactos ambientais como a contaminação crônica ou aguda dos ecossistemas marinhos, a alteração de habitats bentônicos, a contribuição para a acidificação

oceânica e as mudanças climáticas, e a perturbação da fauna marinha por poluição sonora ou física. Portanto, a gestão proativa desses aspectos, através de tecnologias mitigadoras e sistemas de prevenção, é essencial para transformar um modelo tradicionalmente reativo em um ciclo de melhoria contínua e desempenho ambiental sustentável.

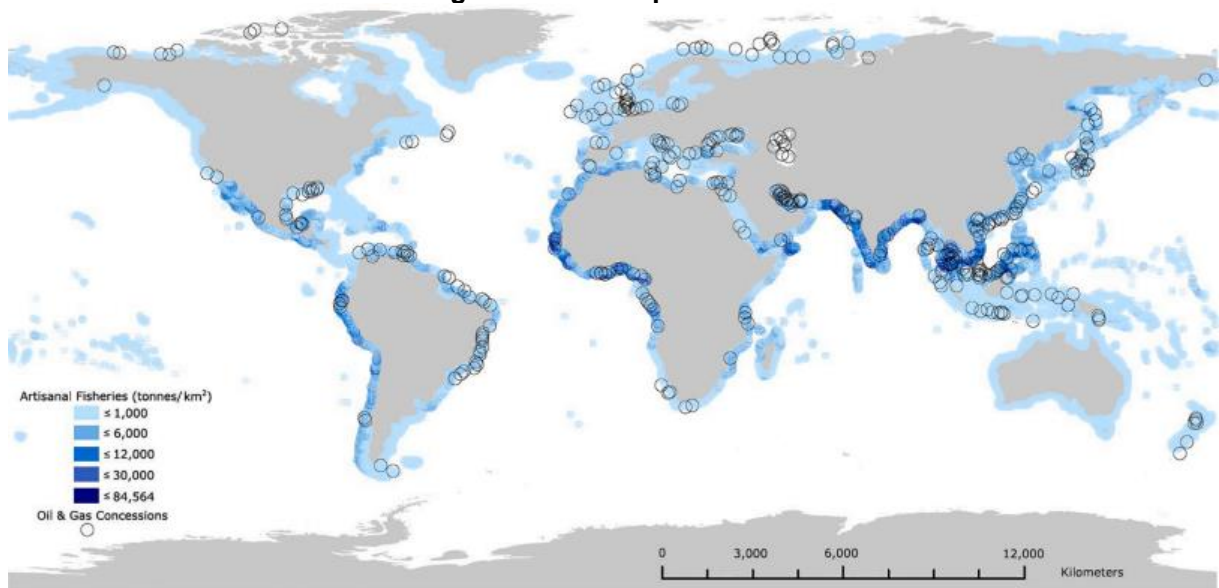
3.5.1 Impactos ambientais e sociais na zona costeira

Embora os métodos e as tecnologias usados na exploração e produção de petróleo sejam altamente avançados, ainda existem algumas lacunas que afetam negativamente o meio ambiente das áreas circundantes e, em alguns casos, de regiões inteiras (Johnston; Lim; Roh, 2019). Esses impactos ambientais podem ser extensos e variados. A contaminação do solo e da água é um problema comum, resultante da liberação de substâncias perigosas, como hidrocarbonetos e metais pesados durante os processos de extração. Essa contaminação pode perturbar os ecossistemas e representar sérios riscos à saúde das comunidades próximas (Gržinić et al., 2023; Polcyn et al., 2023). A poluição do ar é outra preocupação significativa, pois a queima e a ventilação do gás natural durante a produção liberam grandes quantidades de gases de efeito estufa e outros poluentes na atmosfera, afetando a qualidade do ar e considerado um dos potenciais causadores de problemas respiratórios e outros problemas de saúde para as pessoas que estão localizadas nas proximidades dos campos de petróleo (Polcyn et al., 2023).

Em relação às plataformas, as de tipologia fixa clássica são particularmente controversas quando a produção se encerra. Por funcionarem como recifes artificiais, podem beneficiar tanto as empresas, como também as comunidades costeiras, por auxiliar a biodiversidade (Nugraha et al., 2019), favorecendo a fixação de comunidades de invertebrados na infraestrutura auxiliar, como tubulações de transporte, e atraindo espécies de peixes com alto valor comercial (Gausland, 2003). Desse modo, o reaproveitamento e manutenção dessas estruturas possui alto potencial para o desenvolvimento de atividades relacionadas à criação de peixes, turismo educacional e geração de energias renováveis eólica e solar (Zanuttigh; Dallavalle; Zagonari, 2025). Isso pode, em alguns casos, mitigar conflitos entre a indústria e a prática de pesca artesanal devido aos distúrbios causados pelas atividades de extração, visto a sobreposição dessas atividades econômicas costeiras (Figura 7).

O problema com pescadores ocorre devido à delimitação de uma margem de exclusão com aproximadamente 500 m de raio a partir da plataforma para evitar colisões com as estruturas (Kashubsky; Morrison, 2013). Em consequência, as áreas de tráfego marítimo permitido experienciar sobrepesca e redução do número de indivíduos de determinadas espécies de peixes (Pascoe; Innes, 2018). Porém, o comportamento do pescado pode mudar não somente durante a produção de óleo, como também durante a prospecção com os testes sísmicos, em que a consequência de tornar a captura mais difícil é comum (Carroll et al., 2017; Engås et al., 1996).

Figura 7 – Sobreposição entre as atividades de exploração petrolífera e a pesca artesanal nas regiões costeiras pelo mundo



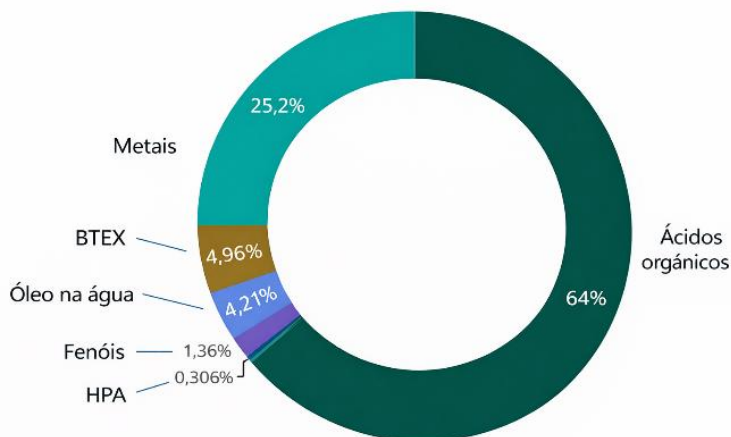
Fonte: Andrews et al. (2021).

3.5.2 Impactos negativos à vida marinha

Um problema associado à extração offshore relaciona-se ao descarte da água produzida, que consiste na água de injeção recuperada juntamente ao óleo após tratamento, em que o método de “solução” à poluição é sua diluição no oceano (Beyer et al., 2020). Uma descarga tipicamente contém óleo disperso na faixa de 10 a 100 mg/L, e uma composição complexa (Figura 8) de hidrocarbonetos gasosos dissolvidos, partículas em suspensão, sais inorgânicos, ácidos orgânicos, hidrocarbonetos aromáticos (como os conjuntos Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno – BTEX e Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos – HPA), cetonas, fenóis/alquilfenóis, metais pesados e materiais radioativos de ocorrência natural, bem como produtos químicos adicionados ao sistema de produção para auxiliar os processos de extração ou para proteger contra incrustações biológicas e corrosão são

frequentes (Ahmadun et al., 2009; Neff Jerryand Lee, 2011; Pascoe; Innes, 2018; Røe Utvik, 1999).

Figura 8 – Exemplo de composição das emissões presentes na água produzida



Fonte: Beyer et al. (2020).

Dada a variedade de produtos químicos e a ampla gama de concentrações possíveis, é difícil generalizar sobre a toxicidade potencial de uma determinada água produzida, em que a melhor forma consiste em avaliar o impacto ambiental potencial para uma variedade de organismos marinhos, preferencialmente nativos (Holdway, 2002). Nesse quesito, considera-se os efeitos de:

- **Toxicidade aguda** refere-se aos efeitos adversos que ocorrem em um curto período de exposição a uma substância tóxica, geralmente em até 96 horas. Esse tipo de toxicidade é caracterizado por respostas rápidas e severas, podendo levar à morte ou a danos significativos aos organismos expostos. Os testes frequentemente medem a CL50 (concentração letal para 50% dos organismos) ou a CE50 (concentração efetiva com efeitos subletais para 50% dos organismos), indicando a potência do agente tóxico em causar danos imediatos;
- **Toxicidade crônica** refere-se aos efeitos adversos resultantes da exposição prolongada a baixas concentrações de uma substância tóxica, durante períodos que podem abranger parte significativa do ciclo de vida do organismo ou até várias gerações. Esses efeitos incluem redução no crescimento, alterações na reprodução, malformações, mudanças comportamentais e diminuição da sobrevivência a longo prazo.

Efeitos agudos de água produzida relatados na zona de mistura incluem principalmente: comunidades bentônicas alteradas dominadas por poliquetas

oportunistas de vida curta a até 100 m de plataformas offshore (Neff; Sauer; Maciolek, 1992); diminuição da abundância de cracas nas estruturas da plataforma; e mortalidade de ostras a até 23 m de um emissário (Black et al., 1994). Fora da zona de mistura, os modelos de dispersão comumente preveem grau de exposição à água produzida insignificante (Brendehaug et al., 1992), visto que as plumas diluem-se rapidamente (Somerville et al., 1987; Stephens et al., 2000) e podem tipicamente atingir uma diluição em torno de 1000 vezes a uma distância de 1000 m do emissário (Neff, 2002). Além disso, os dados de toxicidade aguda de várias áreas de produção indicam índices relativamente baixos para vários organismos marinhos, com relação CE50/CL50 variando em torno de 5% a 50% de água produzida total (Holdway, 2002).

Em relação aos efeitos crônicos da toxicidade em sistemas marinhos, muitos organismos larvares planctônicos e estágios iniciais de desenvolvimento poderiam potencialmente ser expostos a plumas de água produzida, e há evidências de que a exposição de estágios iniciais de vida a baixas concentrações desse material pode causar uma resposta no desenvolvimento em uma fase posterior em ouriços-do-mar (Krause; Osenberg; Schmitt, 1992). Dado que as larvas planctônicas geralmente devem passar por uma fase de transição sensível durante a qual se fixam e sofrem metamorfose para a forma adulta, a exposição a componentes tóxicos contidos na água produzida durante este importante evento do ciclo de vida pode ter efeitos pronunciados (Holdway, 2002).

Porém, não somente durante a produção, como também durante a perfuração do poço, a água marinha pode entrar em contato com substâncias complexas de potencial tóxico. Para Holdway (2002), a variedade de componentes químicos nos fluidos de perfuração e sua variação tanto na composição percentual quanto na toxicidade aguda inerente significa que há potencial para grandes variações na toxicidade entre diferentes fluidos. Usando os principais componentes de fluidos de perfuração italianos para ilustrar isso, pode-se rapidamente ver que qualquer desses produtos contendo maiores quantidades de aditivos antiespumantes e umectantes teria toxicidade significativamente maior.

O uso de fluidos de perfuração à base de óleo geralmente exige um sistema de reuso/reciclagem, visto que seu custo é mais alto e muitas áreas do mundo proíbem seu descarte, como no Golfo do México. Outras áreas distinguem entre fluidos à base de diesel e fluidos à base de óleo mineral, como no Mar do Norte, permitindo o

descarte daqueles à base de óleo mineral menos tóxicos quando considerado ambientalmente viável (Bleier; Leuterman; Stark, 1992).

Alternativas como ésteres de óleo de peixe têm sido usados com sucesso em fluidos de perfuração, demonstrando toxicidade aguda ainda menor para organismos marinhos, com CL50 para a alga *Isochrysis sp.* e para as pós-larvas do camarão *Penaeus monodon* superior a 100.000 ppm (Papp; West, 1999). Uma outra opção são os fluidos de perfuração à base de éster derivados de óleos vegetais, reconhecidos por oferecer o melhor desempenho ambiental (Peresich; Burrell; Prentice, 1991). Porém, apresentam alta viscosidade cinemática, possuem baixa estabilidade térmica e são propensos à hidrólise, tanto em condições ácidas quanto básicas (Caenn; Chillingar, 1996), propriedades inadequadas que podem ser corrigidas a partir de aditivos (Razali et al., 2018).

3.6 RELAÇÃO DO SETOR COM A SUSTENTABILIDADE

O setor de petróleo faz interface com todos os dezessete Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), impulsionando contribuições positivas ou mitigando impactos negativos para os temas materiais destacados na Figura 9 (IPIECA; IFC; UNDP, 2017). Para a norma GRI 11 (2024), suas atividades são especialmente cruciais para o Objetivo 13: Ação Contra a Mudança Global do Clima, devido ao seu impacto potencial nas mudanças climáticas e na transição para uma economia de baixo carbono. Além disso, o setor desempenha um papel fundamental no Objetivo 7: Energia Limpa e Acessível, ao garantir o acesso à energia para todos, um desafio significativo, já que milhões de pessoas ainda carecem desse recurso básico.

A falta de energia limita o acesso a serviços essenciais, como saúde e educação (ODSs 3 e 4), e prejudica oportunidades de geração de renda, essenciais para a erradicação da pobreza (ODS 1). Uma energia acessível, confiável e sustentável é vital para impulsionar a economia global e alcançar o Objetivo 8: Trabalho Decente e Crescimento Econômico. No entanto, em países produtores de petróleo e gás, as grandes receitas geradas pelo setor podem trazer riscos, como corrupção e conflitos relacionados aos recursos, o que pode comprometer o Objetivo 16: Paz, Justiça e Instituições Eficazes (GSSB, 2024).

Apesar disso, o conjunto dos dez objetivos “3 – Saúde e bem-estar”, “6 – Água potável e saneamento”, “7 – Energia limpa e acessível”, “8 – Trabalho decente e econômico”, “9 – Indústria inovação e infraestrutura”, “12 – Consumo e produção responsáveis”, “13 – Ação contra a mudança global do clima”, “14 – Vida na água”, “15 – Vida terrestre” e “16 – Paz, justiça e instituições eficazes” são considerados os principais em suas próprias operações e aproveitando seu papel na cadeia de valor, enquanto a ODS “17 – Parcerias e meios de implementação” é considerada como essencial (IPIECA, 2021).

Figura 9 – Tópicos das ODSs correlacionados com a indústria de petróleo e gás

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|-----------------------|---------------------------|-------------------|------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|--------------|----------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| ERADICAÇÃO DA POBREZA | ENERGIA LIMPA E ACESSÍVEL | Saúde e bem-estar | QUALIDADE DE QUALIDADE | IGUALDADE DE GÊNERO | ÁGUA POTÁVEL E SANEAMENTO | ENERGIA LIMPA E ACESSÍVEL | TRABALHO DECENTE E ECONOMIA | INDÚSTRIA, INOVAÇÃO E INFRAESTRUTURA | INDÍCIAS DE DIVERSIDADE | CONSUMO E PRODUÇÃO RESPONSÁVEIS | CONSUMO E PRODUÇÃO RESPONSÁVEIS | AÇÃO CONTRA A MUDANÇA GLOBAL DO CLIMA | VIDA NA ÁGUA | VIDA TERRESTRE | Paz, justiça e instituições eficazes | PARCERIAS E MEIOS DE IMPLEMENTAÇÃO |
| 1.1 | 2.1 | 3.1 | 4.1 | 5.1 | 6.1 | 7.1 | 8.1 | 9.1 | 10.1 | 11.1 | 12.1 | 13.1 | 14.1 | 15.1 | 16.1 | 17.1 |
| 1.2 | 2.2 | 3.2 | 4.2 | 5.2 | 6.2 | 7.2 | 8.2 | 9.2 | 10.2 | 11.2 | 12.2 | 13.2 | 14.2 | 15.2 | 16.2 | 17.2 |
| 1.3 | 2.3 | 3.3 | 4.3 | 5.3 | 6.3 | 7.3 | 8.3 | 9.3 | 10.3 | 11.3 | 12.3 | 13.3 | 14.3 | 15.3 | 16.3 | 17.3 |
| 1.4 | 2.4 | 3.4 | 4.4 | 5.4 | 6.4 | 7.a | 8.4 | 9.4 | 10.4 | 11.4 | 12.4 | 13.a | 14.4 | 15.4 | 16.4 | 17.4 |
| 1.5 | 2.5 | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 6.5 | 7.b | 8.5 | 9.5 | 10.5 | 11.5 | 12.5 | 13.b | 14.5 | 15.5 | 16.5 | 17.5 |
| 1.a | 2.a | 3.6 | 4.6 | 5.6 | 6.6 | | 8.6 | 9.a | 10.6 | 11.6 | 12.6 | | 14.6 | 15.6 | 16.6 | 17.6 |
| 1.b | 2.b | 3.7 | 4.7 | 5.a | 6.a | | 8.7 | 9.b | 10.7 | 11.7 | 12.7 | | 14.7 | 15.7 | 16.7 | 17.7 |
| | 2.c | 3.8 | 4.a | 5.b | 6.b | | 8.8 | 9.c | 10.a | 11.a | 12.8 | | 14.a | 15.8 | 16.8 | 17.8 |
| | | 3.9 | 4.b | 5.c | | | 8.9 | | 10.b | 11.b | 12.a | | 14.b | 15.9 | 16.9 | 17.9 |
| | | 3.a | 4.c | | | | 8.10 | | 10.c | 11.c | 12.b | | 14.c | 15.a | 16.10 | 17.10 |
| | | 3.b | | | | | 8.a | | | | 12.c | | | 15.b | 16.a | 17.11 |
| | | 3.c | | | | | 8.b | | | | | | | 15.c | 16.b | 17.12 |
| | | 3.d | | | | | | | | | | | | | | 17.13 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 17.14 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 17.15 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 17.16 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 17.17 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 17.18 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 17.19 |

Fonte: Dados de IPIECA, IFC e UNDP (2017).

O relatório da IPIECA (2021) recombina as 11 ODSs principais em uma redistribuição do *Environmental, Social and Governance* – ESG (Ambientais, Sociais e de Governança), onde o campo ambiental é tratado como clima e natureza e as áreas social e governamental integram o grupo pessoas. Os novos grupos de discussão para o desenvolvimento sustentável, descritos a seguir, possuem objetivos e oportunidades ao setor de petróleo, as quais incluem o tema material das ODSs correlacionados, o potencial de impacto da ação e a estimativa de prazo de implementação.

- I. Clima
 - a. Política e parcerias: Promover políticas e parcerias eficazes que apoiem a inovação e a implantação de tecnologias e atividades necessárias para transformar o sistema energético e desenvolver a resistência climática;
 - b. Inovação: Investir em tecnologia e inovação que possibilitarão produtos e soluções de baixo carbono;
 - c. Operações: Promover iniciativas de redução de emissões para operações próprias em apoio aos objetivos do Acordo de Paris.
- II. Natureza
 - a. Gestão de recursos: Gerenciar recursos de forma responsável para apoiar uma economia circular;
 - b. Conservação da biodiversidade, da terra e da água: Conservar, restaurar e promover a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos.
- III. Pessoas
 - a. Governança e transparência: Apoiar os governos na realização dos ODSs, alinhando prioridades e acelerando a ação;
 - b. Comunidades: Promovem a prosperidade individual e comunitária em torno de suas próprias atividades, incluindo o avanço do desenvolvimento sustentável, dos meios de subsistência, da boa saúde e do bem-estar;
 - c. Força de trabalho próspera: Proporcionar empregos produtivos, defendendo a saúde, segurança e bem-estar dos trabalhadores em toda a cadeia de suprimentos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para estruturar a avaliação, adotou-se um referencial composto por cinco pilares principais: 1) os Relatórios de Sustentabilidade de empresas brasileiras produtoras de petróleo *offshore*; 2) as diretrizes da IPIECA (2021), organizadas nas dimensões Clima, Natureza e Pessoas; 3) os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS; 4) a norma GRI 11 (2024); e 5) casos similares aos próximos desafios de gestão ambiental para o futuro da indústria.

A escolha das empresas considerou a atuação predominantemente em exploração e produção *offshore* e a disponibilização de informações exclusivas das ações no Brasil, restando apenas a Petrobras e Prio (anteriormente denominada como PetroRio). Cabe ressaltar que as companhias possuem interesses em momentos distintos da vida útil de um campo produtor de petróleo: a Petrobras atua com produção primária, enquanto a Prio produz exclusivamente em campos maduros, aplicando os métodos de produção secundária e algum nível terciário.

Outro dado que afetou diretamente as análises foi a disponibilidade de Relatórios de Sustentabilidade. A Petrobras publica relatórios desde 2007 e a Prio iniciou apenas em 2022. Em ambas, o último ano-base disponível refere-se a 2024. Desse modo, para nivelamento do tempo de informações, foram utilizados três anos de publicações, 2022, 2023 e 2024, listados no Anexo A. Além disso, é necessário considerar que muitas das iniciativas ambientais apresentadas nesses relatórios extrapolam as exigências legais e regulatórias, sendo frequentemente enquadradas no campo do voluntarismo corporativo. Embora essas ações possam representar avanços relevantes em termos de gestão socioambiental, sua divulgação também pode ser utilizada como estratégia de diferenciação competitiva ou de fortalecimento da imagem pública da organização. Dessa forma, torna-se fundamental adotar uma abordagem analítica capaz de distinguir, tanto quanto possível, entre estratégias de comunicação institucional e compromissos efetivos com a sustentabilidade, avaliando criticamente a consistência, a abrangência e a verificabilidade das informações apresentadas.

4.1 PROCEDIMENTO DE ANÁLISE DOS RELATÓRIOS

Inicialmente os relatórios foram pré avaliados em relação ao cumprimento da abordagem dos 22 Temas Materiais da GRI 11 (2024). Posteriormente, as

informações sobre as práticas que visam melhorar o desempenho ambiental dessas instituições foram filtrados com base nas diretrizes da IPIECA (2021) com a ferramenta Google NotebookLM (2025), a fim de identificar e classificar as ações ESG recomendadas e implementadas para relacioná-las aos ODS. Não limitando-se à IPIECA (2021), outras ações ESG não presentes nesse documento e relatadas pelas empresas também foram consideradas. A análise das informações filtradas inclui também a indicação de qual ODS a ações está relacionada, como forma de verificar a abrangência rumo à sustentabilidade que o setor está praticando.

4.2 APRESENTAÇÃO DE OPÇÕES PARA A GESTÃO AMBIENTAL DO SETOR

As principais lacunas e oportunidades de melhoria nas práticas de sustentabilidade do setor foram verificadas, com ênfase na gestão de impactos, na transição energética e na inovação tecnológica. Nessa etapa, completa-se todo o ciclo do Sistema de Gestão Ambiental fundamentada no conceito *Plan-Do-Check-Act* – PDCA conforme disposto na *International Organisation for Standardization* – ISO 14001:2015. Como forma de extrapolar o PDCA comum, discute-se o potencial de transformação do modelo de negócios do segmento *offshore*, considerando a internalização de custos ambientais e o redirecionamento de investimentos para tecnologias e produtos de menor impacto ambiental. Em último momento, o custo de oportunidade das novas fronteiras de exploração e produção de petróleo na Margem Equatorial foi discutido, utilizando-se de casos similares presentes na literatura.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ANÁLISE DOS RELATÓRIOS DE SUSTENTABILIDADE DAS EMPRESAS ATUANTES NO BRASIL

A Tabela 1 demonstra como as ações da IPIECA (2021) estão relacionadas aos Temas Materiais da GRI 11 (2024), bem como o cumprimento adequado por parte das empresas avaliadas na aplicação do padrão de relatório. Como se pode observar, a Petrobras consegue cumprir em algum nível todos os 22 pontos indicados na GRI 11 (2024), enquanto a Prio não apresenta informações nos temas 7, 13, 16 e 18. Além disso, apesar de que nenhuma ações da IPIECA (2021) de número 55 a 61 foi identificada como praticada (Tabela 2), os temas GRI 11 (2024) são cumpridos por meio de outras ações do escopo ESG que foram identificadas nos relatórios.

Tabela 1 – Correlação entre a norma GRI 11 (2024) e as ações IPIECA (2021) e cumprimento dos temas materiais por parte das empresas avaliadas

| | Tema material GRI 11 (2024) | Ações IPIECA (2021) relacionadas | Petrobras | Prio |
|----|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------|-------------|
| 1 | Emissões de Gases de Efeito Estufa | 1-10, 12, 14, 15 e 17-29 | ✓ | ✓ |
| 2 | Adaptação, resiliência e transição climática | 1, 4-7, 9, 10, 12, 13, 15-29, 55-61, 68-70 e 72-93 | ✓ | ✓ |
| 3 | Emissões atmosféricas | 24, 27 e 28 | ✓ | ✓ |
| 4 | Biodiversidade | 45-54 | ✓ | ✓ |
| 5 | Resíduos | 30-35 e 45 | ✓ | ✓ |
| 6 | Água e efluentes | 45-54 | ✓ | ✓ |
| 7 | Encerramento e reabilitação | 35, 45-54, 87 e 88 | ✓ | |
| 8 | Integridade de ativos e gestão de acidentes de segurança de processo | 2-35 e 40-93 | ✓ | ✓ |
| 9 | Saúde e segurança do trabalho | 39 e 62-93 | ✓ | ✓ |
| 10 | Práticas empregatícias | 62-93 | ✓ | ✓ |
| 11 | Não discriminação e igualdade de oportunidades | 62-93 | ✓ | ✓ |
| 12 | Trabalho forçado e escravidão moderna | 62-93 | ✓ | ✓ |
| 13 | Liberdade sindical e negociação coletiva | 62-93 | ✓ | |
| 14 | Impactos econômicos | 55-61 e 68-93 | ✓ | ✓ |
| 15 | Comunidades locais | 62-93 | ✓ | ✓ |
| 16 | Direitos à terra e aos recursos naturais | 62-93 | ✓ | |
| 17 | Direitos de povos indígenas | 62-93 | ✓ | ✓ |
| 18 | Conflito e segurança | 62-93 | ✓ | |
| 19 | Concorrência desleal | 55-61 | ✓ | ✓ |
| 20 | Combate à corrupção | 55-61 | ✓ | ✓ |
| 21 | Pagamentos a governos | 55-61 | ✓ | ✓ |
| 22 | Políticas públicas | 1-29, 55-61 e 68-93 | ✓ | ✓ |

Tabela 2 – Ações IPIECA (2021) identificadas nos relatórios corporativos

| Ação | Descrição | ODS afetada | Potencial de impacto ao ODS | Tempo para resultados |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------|-----------------------|
| 23 | Reunir e divulgar conhecimentos e boas práticas para empresas de petróleo e gás na área das emissões líquidas zero como elemento-chave da transição energética e das vias de baixas emissões. | 7.a | Alto | 4 a 6 anos |
| | | 12.6 | | |
| | | 13.2 | | |
| Clima | Adotar metas de redução da intensidade do metano consistentes com a melhor metodologia disponível. Considerar a implantação de novas tecnologias para melhor detecção e quantificação do metano. | 9.4 | Alto | 4 a 6 anos |
| | | 12.2 | | |
| | | 12.4 | | |
| | | 13.2 | | |
| | | 13.3 | | |
| 27 | Fortalecer as iniciativas operacionais de redução das emissões de gases de efeito estufa, identificando pontos críticos de emissões, implementando as melhores práticas de eficiência de recursos, incentivando a inovação e divulgando o progresso. | 7.3 13.2 | Alto | 1 a 3 anos |
| | | 7.a 13.3 | | |
| | | 9.4 | | |
| | | 12.2 | | |
| | | 12.4 | | |
| 35 | Incorporar princípios de design sustentável e circularidade nas fases iniciais do projeto e ao longo de todo o desenvolvimento, a fim de aumentar a sustentabilidade da infraestrutura, dos processos e dos produtos do projeto. | 9.1 12.5 | Alto | 1 a 3 anos |
| | | 9.4 12.6 | | |
| | | 9.5 | | |
| | | 12.2 | | |
| | | 12.4 | | |
| Natureza | Promover e contribuir para o desenvolvimento e a implementação de estratégias espaciais marinhas para incentivar a gestão concertada dos direitos dos diferentes usuários. | 14. | Médio | 7 a 9 anos |
| | | 14.c | | |
| | | | | |
| 51 | Adotar estratégias de gestão da água que incluam a colaboração em torno da gestão integrada dos recursos hídricos, a participação local na gestão coletiva da água, particularmente em áreas de escassez hídrica, e a melhoria da qualidade da água e sua reutilização, sempre que possível, para reduzir o uso de água doce. | 6.1 14.1 | Baixo | 4 a 6 anos |
| | | 6.3 14.2 | | |
| | | 6.4 15.1 | | |
| | | 6.5 | | |
| | | 6.6 | | |
| 54 | Financiar projetos conjuntos da indústria relacionados à gestão sustentável dos oceanos. | 6.b | Médio | 4 a 6 anos |
| | | 12.2 | | |
| 69 | Melhorar o uso de avaliações de impacto ambiental, social, comunitário e econômico para identificar oportunidades de avançar nas contribuições para os ODS, incluindo um foco nas pessoas vulneráveis e com consideração especial para operações em países com um Índice de Desenvolvimento Humano mais baixo. | 3.9 | Alto | 4 a 6 anos |
| | | 8.3 | | |
| | | 8.5 | | |
| | | 8.6 | | |
| | | | | |
| 78 | Reconhecer a posição dos povos indígenas e buscar o consentimento livre, prévio e informado. | 16.7 | Alto | 4 a 6 anos |
| | | 16.10 | | |
| 79 | Apoiar os esforços nacionais de saúde e a resposta da comunidade por meio de esforços colaborativos na prevenção de doenças e resposta a emergências médicas. | 3.8 | Alto | 4 a 6 anos |
| | | 3.c | | |
| | | 3.d | | |
| 88 | Implementar planos de transição com bastante antecedência entre as diferentes fases do projeto, incluindo o encerramento, para reduzir os impactos nas comunidades locais, incluindo o envolvimento com organizações trabalhistas e o apoio ativo à força de trabalho para se preparar e acessar futuras oportunidades de emprego. | 8.2 | Médio | 7 a 9 anos |
| | | 8.3 | | |
| | | 13.3 | | |

Fonte: IPIECA (2021).

Em relação às ações IPIECA (2021) identificadas, nota-se que são predominantemente de alto impacto para os ODSs e com tempo médio (4 a 6 anos) para que resultados concretos sejam observados. As ações 27 e 35 são de alto impacto e tempo curto (1 a 3 anos) para resultados, destacando a importância para suas implementações. Em contraste, a ação 51 apresenta baixo potencial de impacto a médio prazo e as ações 45 e 88 são de médio impacto com efeitos mais demorados (7 a 9 anos), porém não significa que são menos importantes.

No contexto da legislação ambiental brasileira, algumas práticas podem estar plenamente associadas a condicionantes para que as empresas operem no território. Essas situações reativas foram observadas em alguns aspectos atribuídos às práticas das ações IPIECA (2021) 45, 54, 69 e, especialmente, a 78. A perda do fundamento ESG nesta última se deve às novas fronteiras de exploração de petróleo, onde os povos indígenas na região serão uma parte da comunidade afetada de modo direto e indireto. As demais ações possuem caráter muito mais proativo e, de fato, são medidas ESG.

5.1.1 Primeira dimensão: clima

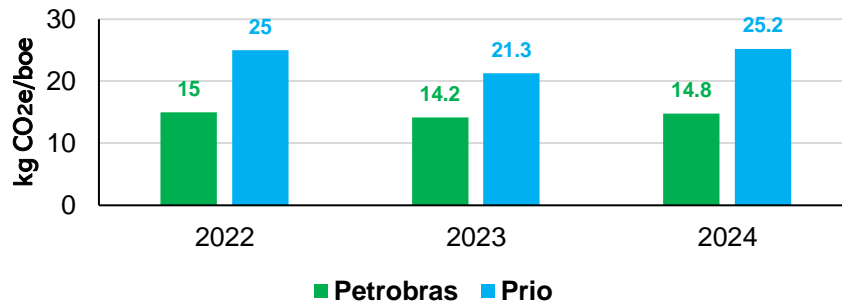
No âmbito da IPIECA (2021) Ação 23, que propõe a disseminação de conhecimento e boas práticas para que empresas de óleo e gás avancem rumo a emissões líquidas zero como elemento central da transição energética, observa-se posicionamento estratégico distinto entre as companhias analisadas. A Petrobras adotou publicamente a ambição de neutralizar as emissões operacionais até 2050. Esse compromisso está formalmente incorporado em seu Plano Estratégico (2024–28+), que estabelece meta de redução de 30% das emissões absolutas até 2030 e prevê investimentos da ordem de US\$ 16,3 bilhões em projetos de baixo carbono. Já a Prio, embora não declare meta pública de “net-zero” com ano-alvo definido, fundamenta sua estratégia de negócios centrada na revitalização de campos maduros e em *tiebacks* como alternativa de menor intensidade emissiva, ao evitar a construção de novas plataformas e priorizar ganhos de eficiência. Seu principal indicador de desempenho climático é a taxa de emissões por barril produzido.

Quanto à IPIECA (2021) Ação 25, que orienta a adoção de metas de redução de intensidade de metano alinhadas às melhores metodologias disponíveis e ao emprego de tecnologias para detecção e quantificação mais precisas, a Petrobras aderiu, em

2023, à iniciativa *Oil and Gas Methane Partnership* – OGMP 2.0 (Parceria para o Metano no Setor de Petróleo e Gás), obtendo o selo Gold Standard. A companhia estabeleceu meta pública de atingir intensidade de $0,20 \frac{tCH_4}{1000tHC}$ até 2030 e reporta redução de 66% entre 2015 e 2023, resultado de melhorias na gestão de gás e na diminuição da queima em flare. A Prio, por sua vez, divulga a participação do metano em suas emissões totais de Escopo 1 (por exemplo, 12% em 2023) como parte de seu inventário de Gases de Efeito Estufa – GEE e menciona a redução de emissões de flare, como no Cluster Bravo, dentro de sua estratégia de eficiência operacional, o que implica menor liberação de metano não queimado. A mitigação desse gás é particularmente relevante para o ODS 13, dado seu elevado potencial de aquecimento global no curto prazo em comparação ao CO₂.

Por fim, a IPIECA (2021) Ação 27 enfatiza o fortalecimento de iniciativas de redução de emissões operacionais por meio da identificação de “hotspots” emissivos, adoção de melhores práticas de eficiência e estímulo à inovação, com divulgação transparente de resultados. A Petrobras estrutura essa agenda por meio de instrumentos como o Programa Carbono Neutro e o Fundo de Descarbonização, que financiam projetos de eficiência energética e redução de emissões. A empresa utiliza a metodologia da Curva de Custos Marginais de Abatimento para priorizar oportunidades e reporta detalhadamente a evolução de indicadores de intensidade de GEE, tendo alcançado, em 2023, $13,8 \frac{kgCO_2e}{boe}$ no segmento de Exploração e Produção e $36,8 \frac{kgCO_2e}{CWT}$ no Refino. A Prio documenta iniciativas de *turnaround* operacional, como a otimização do Cluster Bravo e a revitalização do Campo de Frade, que resultaram em reduções expressivas de emissões relativas, a exemplo da queda de 37% no Cluster Bravo entre 2021 e 2023, utilizando como métrica principal a taxa de emissões em $\frac{kgCO_2e}{boe}$. A termo de comparação entre as duas empresas, a Figura 10 demonstra intensidade das emissões totais de GEE relativas a cada barril de óleo equivalente. Esses dados demonstram que a Petrobras cumpre, há alguns anos, a meta 2025 de limitar as emissões de GEE a $15 \frac{kgCO_2e}{boe}$. A Prio, por sua vez, se apresenta como a empresa do setor de óleo e gás com a segunda menor intensidade de emissões entre as companhias atuantes no Brasil.

Figura 10 – Intensidade das emissões de gases de efeito estufa entre as duas companhias avaliadas



5.1.2 Segunda dimensão: natureza

No contexto da IPIECA (2021) Ação 35, que incentiva a incorporação de princípios de design sustentável e circularidade desde as fases iniciais dos projetos, observa-se a adoção de metas estruturadas por parte da Petrobras e da Prio. A Petrobras estabeleceu o compromisso de reduzir em 30% a geração de resíduos de processo e destinar 80% desses resíduos para rotas de reúso, reciclagem e recuperação até 2030. A companhia relata práticas como o reaproveitamento de borras oleosas e programas de coprocessamento, tendo alcançado, em 2023, 91% de destinação para rotas reúso/reciclagem. A Prio, por sua vez, implementou em maio de 2023 o programa “Aterro Zero”, deixando de encaminhar resíduos a aterros sanitários; no mesmo ano, 98,4% de seus resíduos retornaram à cadeia produtiva. Além disso, sua estratégia de interligação de novos poços a infraestruturas já existentes constitui exemplo de design sustentável, ao otimizar ativos, reduzir a necessidade de novas estruturas e minimizar geração de resíduos e emissões.

Quanto à IPIECA (2021) Ação 45, que recomenda abordagem holística na gestão ambiental considerando impactos diretos, indiretos e cumulativos ao longo do ciclo de vida dos projetos, a Petrobras afirma aplicar a hierarquia da mitigação — evitar, minimizar, recuperar e compensar — formalizada em padrões internos de gestão. O compromisso de alcançar 100% das instalações com Planos de Ação de Biodiversidade até 2025 reforça essa perspectiva integrada. Iniciativas de reflorestamento, como aquelas desenvolvidas na Estação Ecológica do Jataí, exemplificam medidas compensatórias. A Prio, por sua vez, opera sob o rigor do licenciamento ambiental federal conduzido pelo Ibama, que exige mapeamento detalhado de impactos e implementação de programas mitigadores, como Projeto de Educação Ambiental – PEA, Projeto de Monitoramento Ambiental e Projeto de

Prevenção e Controle de Espécies Exóticas. Além disso, sua estratégia de revitalização de campos maduros reduz impactos cumulativos associados à abertura de novas frentes exploratórias.

No âmbito da IPIECA (2021) Ação 51, que propõe estratégias de gestão integrada de recursos hídricos, participação local e incentivo ao reúso da água, a Petrobras assumiu a meta de reduzir em 40% a captação de água doce até 2030. Para gerir riscos, utiliza instrumentos como o Índice de Risco de Escassez Hídrica, tendo registrado, em 2023, captação 13% inferior à meta estabelecida. O reúso de água correspondeu a 24% da demanda total, e projetos socioambientais como o “Semeando Água” contribuem para a recuperação de nascentes e a conservação hídrica. A Prio declara que suas operações não geram estresse hídrico relevante, adquirindo água potável em galões para consumo humano e utilizando predominantemente água do mar ou água produzida reutilizada em seus processos. O monitoramento e tratamento da água produzida seguem rigorosamente as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

Por fim, no que se refere à IPIECA (2021) Ação 54, que incentiva o financiamento de projetos conjuntos voltados à gestão sustentável dos oceanos, ambas as empresas apresentam iniciativas relevantes. A Petrobras financia e executa projetos de monitoramento da biodiversidade marinha como parte das condicionantes de licenciamento ambiental, a exemplo do Projeto de Monitoramento de Cetáceos da Bacia de Santos e dos Projetos de Monitoramento de Praias, os quais geram dados essenciais para a gestão e conservação marinha. A Prio, por meio do Termo de Ajustamento de Conduta – TAC Frade, financia iniciativas como “Conservação da Toninha”, “Pesquisa Marinha & Pesqueira” e “Apoio a Unidades de Conservação”. O projeto “Mar Atento”, desenvolvido em parceria com outras operadoras, promove capacitação comunitária para resposta a emergências e proteção da fauna.

5.1.3 Terceira dimensão: pessoas

No âmbito da IPIECA (2021) Ação 69, que propõe o aprimoramento do uso de avaliações ambientais, sociais, de saúde comunitária e de impactos econômicos para fortalecer contribuições aos ODS — com atenção especial a populações vulneráveis —, a Petrobras detalha um processo estruturado de licenciamento ambiental que inclui Estudos de Impacto Ambiental e realização de audiências públicas. Esses instrumentos permitem avaliar e mitigar impactos socioeconômicos associados às

operações. A empresa também utiliza Planos Locais de Responsabilidade Social, com 98% de execução em 2022, e diagnósticos socioeconômicos para endereçar demandas de comunidades vulneráveis, como pescadores artesanais, quilombolas e povos indígenas. A Prio, por sua vez, adota como principais instrumentos o PEA Rede de Observação e o TAC Frade, voltados à avaliação e mitigação de impactos sociais. O PEA prioriza grupos vulneráveis, promovendo sua participação ativa na gestão ambiental, enquanto o TAC Frade direciona investimentos ao fortalecimento da pesca artesanal e à conservação da biodiversidade, impactando diretamente a geração de renda e a segurança alimentar dessas comunidades.

Em relação à IPIECA (2021) Ação 78, que recomenda o reconhecimento da posição dos Povos Indígenas e a busca pelo consentimento livre, prévio e informado, a Petrobras reporta iniciativas de relacionamento com povos indígenas, especialmente no contexto de condicionantes de licenciamento ambiental, como no Projeto Povos na Bacia de Santos, além de investimentos socioambientais em programas como Biodiverso e Berço das Águas. Embora haja registro de diálogo e apoio institucional, não são explicitados processos formais de Consentimento Livre, Prévio e Informado além das exigências legais. Em 2023, a companhia ampliou o diálogo com lideranças indígenas na Margem Equatorial. A Prio informa não possuir operações próximas a terras indígenas, mas desenvolve ações junto a comunidades tradicionais, como caiçaras e quilombolas, por meio do PEA e do TAC Frade, com foco no respeito aos modos de vida e no fortalecimento do protagonismo comunitário. O TAC Frade, por exemplo, capacitou associações locais para estruturarem e apresentarem seus próprios projetos.

No contexto da IPIECA (2021) Ação 79, que incentiva o apoio a esforços nacionais de saúde e a respostas comunitárias a emergências, a Petrobras destacou-se pelo suporte a ações emergenciais durante as enchentes no Rio Grande do Sul em 2024, por meio de doações e apoio logístico, além das iniciativas implementadas durante a pandemia de COVID-19, como doações de gás de cozinha e alimentos. A empresa também realiza simulados de emergência envolvendo comunidades do entorno de unidades como a Refinaria Abreu e Lima e a Refinaria Gabriel Passos, preparando-as para eventuais acidentes industriais. A Prio, por meio do projeto “Mar Atento”, capacitou mais de 60 moradores de comunidades costeiras para atuação em emergências relacionadas a derramamento de óleo, incluindo treinamento em

primeiros socorros à fauna afetada. A companhia mantém Plano de Emergência Individual e promove exercícios simulados periódicos.

Por fim, a IPIECA (2021) Ação 88 orienta a implementação de planos de transição antecipados entre diferentes fases de projetos, incluindo encerramento de atividades, a fim de reduzir impactos sociais e apoiar a empregabilidade futura. A Petrobras, em processos de desinvestimento, adota Planos de Pessoal que preveem realocação ou desligamento com comunicação prévia de quatro a seis meses, além de manter comitê paritário com o Ministério Público do Trabalho para acompanhamento de transferências coletivas. No contexto do descomissionamento, busca gerar valor e empregos por meio de iniciativas como reciclagem sustentável de plataformas. A Prio, cuja estratégia é centrada na aquisição e revitalização de ativos, enfatiza a geração de empregos diretos e indiretos decorrente da expansão operacional. O programa Reação Offshore exemplifica a preparação de moradores locais para inserção no setor de óleo e gás, promovendo qualificação profissional e transição de carreira. O tema de descomissionamento não ocupa posição central em seus relatórios, dado o foco na extensão da vida útil dos campos.

5.1.4 Outras ações ESG

Além das diretrizes propostas pela IPIECA (2021), os relatórios de sustentabilidade da Petrobras e Prio (2022–2024) evidenciam um conjunto mais amplo de ações inseridas no escopo da política ESG. Esses documentos incorporam referenciais adicionais, como a GRI 11 (2024), além de indicadores financeiros de sustentabilidade e iniciativas voltadas à inovação tecnológica. Observa-se, portanto, que as estratégias adotadas pelas companhias extrapolam as orientações operacionais básicas da IPIECA (2021), abrangendo dimensões estruturais de governança, inovação, impacto econômico e cidadania corporativa.

Para o foco Meio Ambiente (Pilar E), a Petrobras está desenvolvendo políticas de "reciclagem verde", de modo a encaminhar o material de plataformas não produtoras à reciclagem, contribuindo para reduzir a pressão por materiais metálicos primários. Por outro lado, a empresa discute a manutenção de dutos rígidos no leito marinho em projetos de descomissionamento (como nos campos de Marlim), desde que limpos e condicionados, sob a premissa de que sua remoção causaria mais impacto do que sua permanência. Isso se alinha ao ODS 14, visando a conservação da vida na água através de decisões baseadas em análise de ciclo de vida. A PRIO, por focar em

extensão de vida do poço produtor, adia este impacto. Além disso, a Petrobras relata o uso de Monitoramento Acústico Passivo e observadores de biota marinha para interromper atividades sísmicas caso cetáceos sejam detectados a menos de 1.000m da fonte. Projetos como o Projeto de Monitoramento da Paisagem Acústica Submarina da Bacia de Santos utilizam cabos de fibra ótica submarinos como sensores acústicos para monitorar baleias e golfinhos, uma inovação voltada ao ODS 9 e 14. Já a PRIO, por ter o segmento de mercado focado em campos maduros, não realiza aquisição sísmica 3D de grande escala, o que mitiga este impacto.

No que se refere à Inovação Tecnológica e Digital (Pilar E/S), as ações concentram-se na digitalização, na proteção de dados e na redução de riscos operacionais. A Petrobras incluiu a Gestão e Segurança da Informação como tema material específico, relatando medidas de prevenção a ataques cibernéticos e proteção de dados sensíveis. Também se observa o uso de drones, robôs e dispositivos vestíveis para monitoramento biomédico e geolocalização de trabalhadores, com o objetivo de minimizar a exposição humana a áreas de risco. Ademais, iniciativas como o projeto Libra 4.0 utilizam tecnologias de gêmeos digitais para otimizar operações e reduzir desperdícios energéticos em tempo real, reforçando a integração entre eficiência operacional e sustentabilidade.

Na dimensão de Diversidade, Equidade e Inclusão (Pilar S), a Petrobras aprovou, em 2023, uma política formal de Diversidade, Equidade e Inclusão, com ênfase em gênero e no Programa de Equidade Racial, que contempla estratégias de fiscalização de conteúdo local e direcionamento de investimentos. Soma-se a isso a meta de realizar *due diligence* (análise prévia de parceiros) no âmbito de direitos humanos em 100% dos fornecedores relevantes até 2030, incluindo capacitações relacionadas à privacidade e à integridade corporativa.

No âmbito da Social e de Cidadania Corporativa (Pilar S/G), observam-se iniciativas da Petrobras que reforçam o papel institucional das empresas na promoção de direitos e no engajamento comunitário. Destacam-se ações de jurídico pró-bono direcionadas a comunidades tradicionais e indígenas, como a etnia Guarani Mbya, com foco na regularização documental e na garantia de direitos fundamentais. A Prio também implementa programas de *donation matching*, incentivando o voluntariado e fortalecendo a cultura ESG entre colaboradores por meio da correspondência de doações destinadas a causas sociais.

No campo da Governança e Integridade Corporativa (Pilar G), a Petrobras utiliza indicadores como o Indicador de Atendimento às Metas de Gases de Efeito Estufa e o Indicador de Compromisso com o Meio Ambiente como métricas de topo para cálculo da remuneração em diferentes níveis hierárquicos, da diretoria à operação. Além disso, a empresa classifica “Transparência e Comunicação” como tema material não GRI, sinalizando um compromisso interno que ultrapassa exigências normativas formais. No âmbito da conformidade, a Prio instituiu o cargo de *Compliance Officer* e realiza, bienalmente, avaliações de risco de integridade por meio de entrevistas e monitoramento anônimo em seu Canal de Integridade para prevenir, detectar e remediar riscos de corrupção, fraude, violação de direitos humanos e outras não conformidades que possam impactar a reputação e a sustentabilidade do negócio.

Por fim, na dimensão Economia e Impacto Indireto (Pilar Financeiro-ESG), a Petrobras também desenvolve programas como “Mais Valor” e “Progredir”, destinados a apoiar financeiramente pequenos e médios fornecedores e aprimorar seu desempenho socioambiental. Complementarmente, foi estruturado o Fundo Petrobras de Bioeconomia, com aporte de R\$ 50 milhões, voltado ao fomento de negócios sustentáveis capazes de gerar créditos de carbono e biodiversidade, operando sob modelo de governança orientado ao retorno e à escala de impacto social.

5.2 LACUNAS EM RELAÇÃO AOS IMPACTOS AMBIENTAIS

Com base na análise dos relatórios corporativos, identificam-se lacunas relevantes na abordagem de determinados impactos socioambientais, especialmente no que se refere à profundidade das avaliações e à sistematização de dados de longo prazo. Embora as empresas apresentem compromissos consistentes com padrões regulatórios e metas ESG, alguns temas ainda necessitam de maior detalhamento ou de consolidação institucional.

No campo social, observa-se que avaliações de impacto social com base em processos participativos diretos ainda não são realizadas de forma plenamente sistemática. A Petrobras reconhece que os diagnósticos socioeconômicos participativos estão em fase de ampliação, sendo que diversos territórios ainda são analisados predominantemente com base em dados secundários, como os disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. De modo

semelhante, embora existam espaços de diálogo com pescadores e comunidades tradicionais, como comitês comunitários, PEA e outros instrumentos, a mensuração quantitativa do impacto econômico decorrente das zonas de exclusão de pesca sobre a renda dos pescadores artesanais não é apresentada de forma detalhada nos relatórios. Isso indica uma lacuna na quantificação objetiva de efeitos indiretos sobre meios de subsistência locais.

Na área climática, a Prio relata a adoção de medidas de mitigação de emissões, porém ainda não apresenta políticas ou compromissos públicos formais voltados especificamente à adaptação às mudanças climáticas. A ausência de diretrizes estruturadas de adaptação, considerando cenários de elevação do nível do mar, eventos extremos e resiliência operacional, sugere oportunidade de avanço na integração entre gestão de riscos físicos e planejamento de longo prazo.

Em relação aos impactos ambientais marinhos, embora haja monitoramento contínuo de parâmetros como Teor de Óleos e Graxas e metais em efluentes, os relatórios não apresentam séries históricas consolidadas sobre bioacumulação em cadeias tróficas ao longo de décadas. A discussão tende a concentrar-se na conformidade com limites regulatórios diários ou mensais, sobretudo no que se refere à água produzida, sem detalhamento de estudos de ecotoxicidade crônica ou de monitoramento prolongado de metais pesados e materiais radioativos em organismos marinhos comercialmente explorados. A ausência de dados longitudinalmente estruturados dificulta a avaliação de possíveis efeitos cumulativos na cadeia alimentar.

Adicionalmente, o impacto potencial da erosão e da sedimentação associados ao tráfego intenso de embarcações de apoio em áreas costeiras rasas é reconhecido como risco real, mas são relatadas poucas medidas específicas de mitigação direta voltadas a esse fenômeno. Embora o tema seja mencionado no contexto de riscos operacionais, falta maior detalhamento quanto a estratégias preventivas, monitoramento geomorfológico sistemático ou indicadores quantitativos de acompanhamento.

De forma geral, as lacunas identificadas não anulam os avanços reportados, mas evidenciam oportunidades de aprimoramento na sistematização de avaliações participativas, na formalização de políticas de adaptação climática e na consolidação de dados ambientais de longo prazo, especialmente no que diz respeito a impactos

cumulativos e crônicos em ecossistemas marinhos e comunidades dependentes desses recursos.

5.3 TRANSIÇÃO MERCADOLÓGICA A NEGÓCIOS COM MENOR IMPACTO AMBIENTAL

Com base no Princípio do Poluidor-Pagador da *Organisation for Economic Co-operation and Development* – OECD (2008), o agente econômico responsável pela poluição deve arcar com os custos de prevenção, controle e reparação dos danos ambientais decorrentes de suas atividades. Porém, além de investir para evitar, minimizar ou mitigar os danos ao meio ambiente, a transformação estrutural de seus modelos de negócio pode ser uma solução. Ou seja, caso a própria natureza do empreendimento apresente incompatibilidades com as metas globais de sustentabilidade, uma alternativa coerente consiste em direcionar parte dos recursos internalizados para a transição do nicho de mercado, alinhando progressivamente as operações aos ODSs. Nessa perspectiva, a cooperação ambiental empresarial deixa de ser predominantemente reativa (baseada em punições pelo descumprimento normativo) e passa a integrar uma lógica de desenvolvimento conjunto orientado por metas governamentais estruturadas e de longo prazo.

Como segmento *upstream* do petróleo é fornecedor de matéria-prima de produtos altamente emissores de carbono e danosos ao meio ambiente, é estratégico direcionar parte dos recursos internalizados para a pesquisa e o desenvolvimento de novos produtos e viabilização das commodities necessárias à transição para uma economia mais sustentável. Ainda que sua atuação não deva se limitar à cadeia de fornecimento, é decisivo que invistam em soluções ainda pouco exploradas ou em escala laboratorial, como materiais substitutos aos derivados de petróleo, cujos exemplos serão detalhados adiante. O internalizar custos ambientais e reinvesti-los em inovação tecnológica, o setor contribui para que novas tecnologias alcancem escala comercial e competitividade econômica, passando a disputar espaço com produtos tradicionais de maior impacto ambiental.

Nesse contexto, a Petrobras apresenta, em seus relatórios, iniciativas associadas à transição energética e à diversificação de portfólio. No campo dos biocombustíveis, destaca-se o Programa BioRefino, voltado à produção de diesel renovável (Diesel R)

e querosene de aviação sustentável (BioQAV), com investimentos de aproximadamente US\$ 0,6 bilhão no Plano Estratégico 2023–2027 e certificação *International Sustainability and Carbon Certification* – ISCC de suas unidades. Em 2024, a companhia destinou cerca de US\$ 16,3 bilhões a projetos de baixo carbono, incluindo iniciativas de biorrefino. Paralelamente, o plano estratégico contempla aportes em eólica offshore, hidrogênio renovável e tecnologias de captura, uso e armazenamento de carbono. Em 2024, foi lançado um projeto de hidrogênio renovável no Rio Grande do Norte e um projeto piloto de captura e armazenamento de carbono em Cabiúnas. No segmento petroquímico, a empresa mantém a produção de nafta para a indústria e reporta testes para produção de bioaromáticos a partir de etanol e óleo de pirólise. O desenvolvimento do material de asfalto CAP Pro, com foco em maior durabilidade e menor emissão ao longo do ciclo de vida, também é apresentado como iniciativa de aprimoramento ambiental de produtos tradicionais. Já a Prio concentra sua estratégia de transição principalmente na ampliação da produção e comercialização de gás natural, entendido como combustível de transição. No entanto, os relatórios não indicam iniciativas relevantes voltadas à produção ou ao incentivo de derivados não energéticos de menor impacto ambiental, permanecendo o foco central na exploração e comercialização de petróleo cru e gás natural.

Assim, observa-se que, embora ambas as empresas internalizem custos ambientais e adotem medidas de mitigação, a amplitude da transformação estrutural de seus modelos de negócio ainda varia. A incorporação efetiva do princípio do poluidor-pagador como vetor de inovação depende não apenas do cumprimento regulatório, mas da capacidade de converter responsabilidades ambientais em investimentos estratégicos voltados à consolidação de uma economia alinhada aos ODS.

5.4 IMPACTOS POTENCIAIS À FOZ DO RIO AMAZONAS

A iminente possibilidade de exploração de petróleo na Bacia da Foz do Amazonas reacende um debate crucial sobre os limites entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental em regiões ecologicamente sensíveis. Para avaliar os potenciais riscos dessa atividade, torna-se instrutivo analisar casos históricos de degradação ambiental em uma região geográfica que passou por transformações

similares, conforme a gestão ambiental holística de Salter e Ford (2001), como forma de tentar compreender os impactos totais. No caso da indústria petrolífera, a perspectiva de impacto ambiental remete ao Delta do Rio Níger, na Nigéria, o qual figura como um dos exemplos mais exemplares e devastadores no quesito similaridade do ambiente natural. Já para a perspectiva de impacto social, as transformações ocorridas em outros municípios brasileiros beneficiados economicamente pela atividade de petróleo *offshore* trazem uma possibilidade mais próxima, especialmente para o retorno dos investimentos à sociedade.

5.4.1 Alterações ambientais

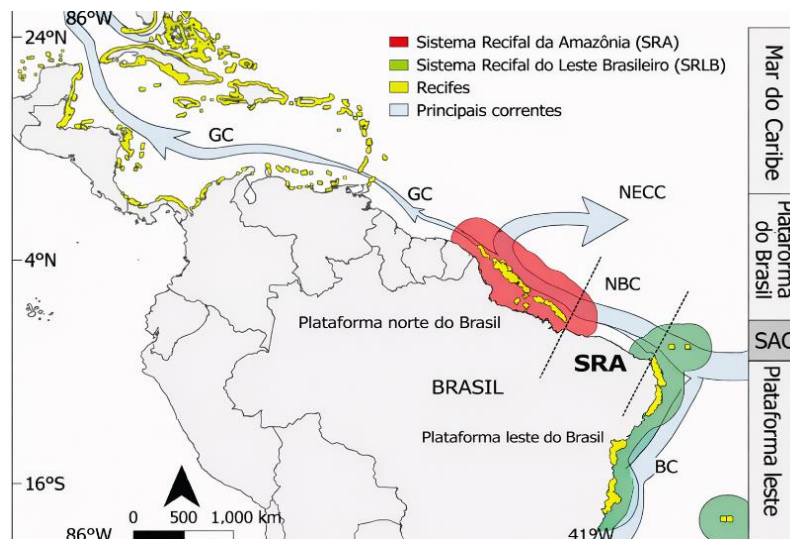
Os dados do *Nigerian Upstream Petroleum Regulatory Commission – Department of Petroleum Resources* trazidos por Ukhurebor et al. (2021) demonstram que, entre 1976 e 1996, a distribuição dos derramamentos de petróleo no Delta do Níger ocorreu predominantemente em ambientes offshore, representando 69% dos incidentes, seguido por 25% em pântanos e 6% em terra. A gravidade da situação é evidenciada pelo fato de que, nesse mesmo período, aproximadamente 77% do petróleo derramado, cerca de 1.820.410,5 barris, não foi recuperado, permanecendo no ambiente e causando danos persistentes aos ecossistemas locais (Nwilo; Badejo, 2005).

Os impactos ecológicos desses derramamentos são múltiplos e interconectados. O petróleo que se deposita no fundo do oceano provoca a mortalidade de organismos bentônicos, como algas e crustáceos, gerando perturbações significativas nas cadeias alimentares marinhas (Okonkwo; Kumar; Taylor, 2015). Adicionalmente, a contaminação afeta a qualidade das penas de aves marinhas, tornando-as mais vulneráveis ao frio, resulta na destruição de criadouros em águas costeiras e provoca a bioacumulação de substâncias tóxicas em peixes comercialmente disponíveis, comprometendo tanto a biodiversidade quanto a segurança alimentar (Ukhurebor et al., 2021). A ruína das populações de peixes constitui um dos problemas mais significativos, pois rios, mares e águas rasas foram contaminados por derramamentos, desencorajando a pesca devido à baixa captura (Osuagwu; Olaifa, 2018). Paralelamente, a contaminação da água e do solo leva à redução da produtividade agrícola, perda de fertilidade do solo e degradação das terras agrícolas, afetando diretamente o sustento das comunidades locais (Aaron, 2005).

Os problemas discutidos ao delta do Rio Níger são associados aos vazamentos de petróleo em plataformas e ao longo de dutos, os quais podem ocorrer tanto por desastres naturais, mas principalmente são causados por falhas humanas, incluindo acidentes, falta de manutenção de equipamentos, falhas de equipamentos, erros operacionais e atos deliberados como sabotagem e durante o abastecimento dos navios (Nwilo; Badejo, 2005; Ukhurebor et al., 2021). Vale ressaltar que as ocorrências de liberação de óleo bruto no ambiente são extremamente maiores no segmento *downstream* devido às refinarias, ainda é uma situação possível, sendo que no ambiente *offshore* o vazamento de fluidos de perfuração é mais frequente. Esses riscos, associados cumulativamente aos impactos ambientais das etapas sísmica, perfuração e produção demonstram o potencial de modificações ambientais que podem ocorrer na foz do Rio Amazonas.

Para o caso brasileiro, há o ainda pouco conhecido Grande Sistema de Recifes da Amazônia, cuja presença de vida foi questionada por alguns grupos pró-exploração de petróleo na região dado o volume de sedimentos liberados pelo Rio Amazonas (De Mahiques et al., 2019). Contudo, há uma dinâmica com o Sistema de Recifes do Leste Brasileiro e os recifes caribenhos, em que a região funciona como um corredor de biodiversidade (Carneiro et al., 2022), conforme exemplificado na Figura 11. Isso reforça a necessidade de precaução na tomada de decisões acerca da exploração mineral do petróleo, visto que em ambientes de elevada complexidade ecológica, a ocorrência de impactos pode produzir efeitos de difícil reversão e com repercussões em escalas espaciais amplas.

Figura 11 – Corrente de interação entre os sistemas de recifes brasileiros e caribenhos



Fonte: Carneiro et al. (2022).

5.4.2 Alterações socioeconômicas

Os estudos de Pizzol e Ferraz (2010) e Prudêncio, Silva e Ney (2024) oferecem, em conjunto, uma análise crítica e complementar sobre os impactos socioeconômicos da indústria do petróleo nos municípios da Bacia de Campos. Pizzol e Ferraz (2010) investigam o período entre 1991 e 2000 nos cinco municípios que mais recebiam royalties no Brasil – Campos dos Goytacazes, Macaé, Rio das Ostras, Cabo Frio e Quissamã, todos pertencentes ao estado do Rio de Janeiro – e constatam um paradoxo: apesar da evolução extraordinária no montante de *royalties* recebidos, especialmente após a promulgação da Lei do Petróleo (Lei nº 9.478/97), essa abundância financeira não se refletiu em crescimento proporcional nos indicadores sociais. Todos os cinco municípios apresentaram queda no ranking nacional do índice de Desenvolvimento Humano Municipal na dimensão Longevidade, e alguns registraram quedas para Educação e Renda. Identificou-se, ainda, elevada dependência das receitas de *royalties*, redução da arrecadação municipal própria e comprometimento de grande parte dos recursos com o custeio da máquina administrativa, restando parcela reduzida para investimentos públicos. Esse fato indica que os *royalties* não estavam cumprindo seu papel de compensar a sociedade e promover melhorias na qualidade de vida.

Prudêncio, Silva e Ney (2024), por sua vez, aprofundam a análise em Macaé/RJ no período de 2006 a 2017, que abrange a descoberta do pré-sal e a crise que afetou a Petrobras a partir de 2014. Utilizando o método do Quociente Locacional (QL), identificou-se forte concentração do setor extrativo mineral, com QL extremamente elevado (QL=48,27 em 2010), caracterizando um aglomerado petrolífero. No entanto, todos os demais setores, com exceção da Construção Civil, apresentaram baixa correlação com a indústria petrolífera, com destaque negativo para a Indústria de Transformação (QL<1), evidenciando baixa diversificação da economia local e extrema dependência do setor de serviços especializados em petróleo. Isso demonstra que a economia de Macaé é extremamente sensível ao ciclo da indústria petrolífera: o estoque de empregos formais cresceu até 2014, mas caiu drasticamente com a crise, assim como os salários do setor extrativo mineral. Embora Macaé/RJ tenha apresentado bons indicadores sociais, o município reproduziu a "lógica do subdesenvolvimento" ao apresentar baixa integração da cadeia produtiva, dependência de uma *commodity* e de uma empresa âncora – que, no caso, é a

Petrobras – e na precariedade dos esforços para diversificação econômica e consolidação de uma rede de ciência e tecnologia.

A dependência estrutural, identificada por Pizzol e Ferraz (2010) como ameaça à sustentabilidade, concretiza-se no período analisado por Prudêncio, Silva e Ney (2024), quando a crise atinge a Petrobras e provoca forte retração no emprego e na renda local. Ambos os estudos convergem para a conclusão de que o modelo de desenvolvimento baseado exclusivamente na exploração de petróleo, sem políticas eficazes de diversificação produtiva e de investimento sustentável dos *royalties*, perpetua desigualdades e subdesenvolvimento, tornando as economias locais reféns das oscilações de um recurso finito e não renovável. Além de tudo, essas observações corroboram a "maldição dos recursos naturais" de Sachs e Warner (1995), segundo a qual regiões abundantes em recursos naturais tendem a especializar-se na produção e exportação desses bens em detrimento da diversificação produtiva, comprometendo o desenvolvimento sustentável de longo prazo.

5.4.3 Custo de oportunidade

O conjunto de evidências apresentado nas subseções anteriores permite refletir sobre os potenciais efeitos da exploração petrolífera na região da foz do Rio Amazonas a partir de duas dimensões complementares: os riscos ambientais associados a ecossistemas sensíveis e as implicações socioeconômicas observadas em regiões que já vivenciaram ciclos intensos da indústria do petróleo. Nesse sentido, a análise comparativa com experiências internacionais e nacionais sugere que os riscos potenciais associados à atividade petrolífera não devem ser considerados apenas sob a perspectiva de sua probabilidade, mas principalmente de sua magnitude e de seus efeitos cumulativos.

A discussão sobre a exploração de petróleo na foz do Rio Amazonas como exemplo das novas fronteiras envolve um claro problema de custo de oportunidade. A decisão de explorar recursos petrolíferos implica avaliar não apenas os benefícios econômicos potenciais, como geração de receitas e empregos, mas também os possíveis custos associados à degradação ambiental e à perda de serviços ecossistêmicos fornecidos por um sistema natural de elevada complexidade e relevância ecológica. Assim, eventuais danos ambientais poderiam comprometer

atividades econômicas já existentes e dependentes da integridade ambiental, além de afetar a conservação de um importante corredor de biodiversidade marinha.

É fato que o controle e extensão dos danos ao meio ambiente e sociedade, expostos como riscos da atividade de exploração de petróleo na foz do Rio Amazonas, dependem da experiência, maturidade e avanços dos meios de controle da empresa. Porém, fundamentando-se no Princípio da Precaução disposto na Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas (1992), “quando houver ameaça de danos graves ou irreversíveis, a ausência de certeza científica absoluta não será utilizada como razão para o adiamento de medidas economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental”.

Dessa forma, a aplicação do Princípio da Precaução implica reconhecer que a decisão de explorar petróleo na foz do Rio Amazonas envolve um significativo custo de oportunidade e um possível sacrifício ambiental. Ao optar pela exploração de um recurso finito, assume-se o risco de comprometer sistemas naturais que desempenham funções ecológicas relevantes e que podem sustentar outras atividades econômicas no longo prazo. Assim, diante das incertezas científicas sobre os impactos ambientais e das evidências empíricas de vulnerabilidade socioeconômica associada ao modelo petrolífero, a abordagem da precaução recomenda que decisões sobre a exploração sejam precedidas por avaliações rigorosas, ampliação do conhecimento científico sobre os ecossistemas locais e adoção de medidas capazes de prevenir ou minimizar danos potencialmente irreversíveis.

6 CONCLUSÕES

A análise dos relatórios de sustentabilidade à luz das diretrizes da IPIECA e dos ODS revela um panorama complexo, no qual convivem avanços significativos em gestão ambiental e compromissos públicos com a descarbonização, ao lado de persistentes deficiências na abordagem de impactos sociais crônicos e na profundidade da transformação dos modelos de negócio. Em primeiro lugar, evidencia-se um descompasso estrutural entre o discurso da transição energética e a realidade dos derivados de petróleo. O setor tem concentrado seus esforços e investimentos na descarbonização das operações e na diversificação da matriz energética, com iniciativas em biocombustíveis, eólica *offshore* e captura de carbono. No entanto, essa agenda, embora necessária, aborda apenas uma fração do problema, visto que a demanda por produtos não energéticos do petróleo (naftas, asfaltos, lubrificantes etc.) tende a persistir ou mesmo crescer em um cenário de transição energética. A ausência de estratégias robustas por parte das empresas analisadas para lidar com essa "outra metade" da cadeia produtiva, como o desenvolvimento de substitutos renováveis para esses insumos ou a promoção de uma economia circular efetiva, constitui uma das principais lacunas identificadas.

Em segundo lugar, se, por um lado, as empresas demonstram conformidade com limites regulatórios para efluentes e emissões, por outro, os relatórios analisados revelam a ausência de dados sistemáticos e de longo prazo sobre fenômenos como a bioacumulação de metais pesados e hidrocarbonetos em cadeias tróficas marinhas. Da mesma forma, embora existam espaços de diálogo com comunidades tradicionais, a quantificação objetiva do impacto econômico das zonas de exclusão de pesca sobre a renda dos pescadores artesanais não é apresentada de forma detalhada, o que dificulta a implementação de medidas compensatórias verdadeiramente eficazes. Essa deficiência na mensuração de impactos indiretos e cumulativos sugere que a gestão ambiental do setor ainda opera, em grande medida, sob uma lógica reativa, focada no atendimento a normas, em detrimento de uma abordagem preventiva, ecossistêmica e de longo alcance.

Diante desse diagnóstico, há uma oportunidade histórica de transformação do setor, que transcenda a lógica do mero cumprimento normativo, através de uma interpretação mais ambiciosa do princípio do poluidor-pagador: internalizar parte dos custos ambientais como vetor estratégico de inovação e transição de mercado. Ao

direcionar parte dos recursos, hoje aplicados em medidas corretivas, para a pesquisa e o desenvolvimento de novos materiais e modelos de negócio, as empresas petrolíferas podem assumir um papel protagonista na construção de uma economia de baixo carbono, em vez de se limitarem a defender a perpetuidade de seu modelo de negócio atual.

Por fim, em relação à exploração em novas fronteiras, a experiência nigeriana oferece uma série de advertências sobre as consequências de derramamentos de petróleo em ecossistemas complexos, incluindo a contaminação de ambientes aquáticos, a destruição de manguezais e o comprometimento do sustento de comunidades tradicionais. Assim, ao confrontar os impactos observados no Delta do Níger com as vulnerabilidades socioambientais da Foz do Amazonas, é possível dimensionar a ameaça iminente que a exploração petrolífera representa para uma das regiões de maior biodiversidade do planeta. Ignorar essas lições e as lacunas de gestão identificadas neste estudo significaria repetir erros do passado, comprometendo ecossistemas únicos e o futuro das comunidades que deles dependem, em nome de um modelo de negócio que, como demonstrado, ainda precisa evoluir significativamente para ser considerado compatível com os princípios mais elementares da sustentabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AARON, K. K. Perspective: Big Oil, Rural Poverty, and Environmental Degradation in the Niger Delta Region of Nigeria. **Journal of Agricultural Safety and Health**, v. 11, n. 2, p. 127–134, 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. **GeoMaps**. Disponível em: <<https://geomaps.anp.gov.br/geoanp/>>. Acesso em: 17 mar. 2025.

AHMADUN, Fakhru'l-Razi *et al.* Review of technologies for oil and gas produced water treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 170, n. 2, p. 530–551, 2009.

ANDREWS, Nathan *et al.* Oil, fisheries and coastal communities: A review of impacts on the environment, livelihoods, space and governance. **Energy Research & Social Science**, v. 75, p. 102009, 2021.

BEYER, Jonny *et al.* Environmental effects of offshore produced water discharges: A review focused on the Norwegian continental shelf. **Marine Environmental Research**, v. 162, p. 105155, 2020.

BLACK, K. P. *et al.* **Environmental implications of offshore oil and gas development in Australia. Part 4; Production activities**. Sydney, Australia: Australian Petroleum Exploration Association Limited, 1994.

BLEIER, R.; LEUTERMAN, A. J. J.; STARK, C. Drilling fluids: Making peace with the environment. *In*: Washington, D.C., United States: OnePetro, 4 out. 1992. Disponível em: <<https://doi.org/10.2118/24553-MS>>. Acesso em: 17 fev. 2026

BRENDEHAUG, J. *et al.* Toxicity Testing and Chemical Characterization of Produced Water — A Preliminary Study. *In*: RAY JAMES P. AND ENGELHARDT, F. Rainer (Org.). **Produced Water: Technological/Environmental Issues and Solutions**. Boston, MA: Springer US, 1992. p. 245–256.

CAENN, Ryen; CHILLINGAR, George V. Drilling fluids: State of the art. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 14, n. 3, p. 221–230, 1996.

CARNEIRO, Pedro B. M. *et al.* Interconnected marine habitats form a single continental-scale reef system in South America. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 17359, 2022.

CARROLL, A. G. *et al.* A critical review of the potential impacts of marine seismic surveys on fish & invertebrates. **Marine Pollution Bulletin**, v. 114, n. 1, p. 9–24, 2017.

DE MAHIQUES, Michel Michaelovitch *et al.* Insights on the evolution of the living Great Amazon Reef System, equatorial West Atlantic. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 13699, 2019.

ENGÅS, A. *et al.* Effects of seismic shooting on local abundance and catch rates of cod ((*Gadus morhua*) and haddock)(*Melanogrammus aeglefinus*). **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 53, n. 10, p. 2238–2249, 1996.

GAUSLAND, Ingebret. **Report for Norwegian Oil Industry Association (OLF): seismic surveys impact on fish and fisheries**. Stavanger: [S.n.].

GLOBAL SUSTAINABILITY STANDARDS BOARD - GSSB. **GRI 11 - Oil and Gas Sector 2021**. [S.l.]: Stichting Global Reporting Initiative - GRI, 2024.

GOOGLE. **NotebookLM**. Mountain View, Califórnia: Google Labs, 2025.

GOOGLE. **Gemini 3 Flash**. Mountain View, Califórnia: Google Labs, 2026.

GRŽINIĆ, Goran *et al.* Intensive poultry farming: A review of the impact on the environment and human health. **Science of The Total Environment**, v. 858, p. 160014, 2023.

HALTTUNEN, Krista; SLADE, Raphael; STAFFELL, Iain. Diversify or die: Strategy options for oil majors in the sustainable energy transition. **Energy Research & Social Science**, v. 104, p. 103253, 2023.

HOLDWAY, Douglas A. The acute and chronic effects of wastes associated with offshore oil and gas production on temperate and tropical marine ecological processes. **Marine Pollution Bulletin**, v. 44, n. 3, p. 185–203, 2002.

INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION - IFC. **Environmental, Health, and Safety Guidelines for Petroleum Refining**. [S.l.: S.n.]. Disponível em: <<https://www.ifc.org/en/insights-reports/2016/publications-policy-ehs-petroleumrefining>>. Acesso em: 21 fev. 2026.

INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **ISO 14001 - Environmental management systems — Requirements with guidance for use**. 3. ed. Geneva: ISO, 2015.

INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION - IPIECA. **Accelerating action: an SDG roadmap for the oil and gas sector**. [S.l.]: IPIECA, 2021.

INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION - IPIECA; INTERNATIONAL FINANCE CORPORATIONS - IFC; UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME - UNDP. **Mapping the oil and gas industry to the sustainable development goals: an atlas.** New York: UNDP, 2017.

JOHNSTON, Jill E.; LIM, Esther; ROH, Hannah. Impact of upstream oil extraction and environmental public health: A review of the evidence. **Science of The Total Environment**, v. 657, p. 187–199, 2019.

KAHIA, Montassar; OMRI, Anis. Oil rents and environmental sustainability: Do green technologies and environmental technological innovation matter? **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, v. 10, n. 3, p. 100366, 2024.

KASHUBSKY, Mikhail; MORRISON, Anthony. Security of offshore oil and gas facilities: exclusion zones and ships' routeing. **Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs**, v. 5, n. 1, p. 1–10, 1 jan. 2013.

KRAUSE, P. R.; OSENBURG, C. W.; SCHMITT, R. J. Effects of Produced Water on Early Life Stages of a Sea Urchin: Stage-Specific Responses and Delayed Expression. *In*: RAY JAMES P. AND ENGELHARDT, F. Rainer (Org.). **Produced Water: Technological/Environmental Issues and Solutions.** Boston, MA: Springer US, 1992. p. 431–444.

KREY, Volker *et al.* Getting from here to there – energy technology transformation pathways in the EMF27 scenarios. **Climatic Change**, v. 123, n. 3, p. 369–382, 2014.

LUDERER, Gunnar *et al.* Environmental co-benefits and adverse side-effects of alternative power sector decarbonization strategies. **Nature Communications**, v. 10, n. 1, p. 5229, 2019.

MARIANO, Jacqueline Barboza; LA ROVERE, Emilio Lèbre. Environmental impacts of the oil industry. *In*: SPEIGHT, James G. *et al.* (Orgs.). **Petroleum Science And Engineering**. Oxford, Reino Unido : UNESCO/EOLSS, 2009. v. 5 p. 34.

NEFF, Jerry; LEE, Kenneth; DEBLOIS, Elisabeth M. Produced Water: Overview of Composition, Fates, and Effects. *In*: LEE KENNETH AND NEFF, Jerry (Org.). **Produced Water: Environmental Risks and Advances in Mitigation Technologies**. New York, NY: Springer New York, 2011. p. 3–54.

NEFF, Jerry M. Chapter 1 - Produced Water. *In*: NEFF, Jerry M. (Org.). **Bioaccumulation in Marine Organisms: Effect of Contaminants from Oil Well Produced Water**. 1. ed. Oxford: Elsevier, 2002. p. 1–35.

NEFF, J. M.; SAUER, T. C.; MACIOLEK, N. Composition, Fate and Effects of Produced Water Discharges to Nearshore Marine Waters. *In*: RAY, James P.; ENGELHARDT, F. Rainer (Orgs.). **Produced Water: Technological/Environmental Issues and Solutions**. Boston, MA: Springer US, 1992. p. 371–385.

NUGRAHA, R. B. A. *et al.* Rigs-To-Reef (R2R): A new initiative on re-utilization of abandoned offshore oil and gas platforms in Indonesia for marine and fisheries sectors. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 241, n. 1, p. 12014, mar. 2019.

NWILO, P. C.; BADEJO, O. T. Oil spill problems and management in the Niger Delta. **International Oil Spill Conference Proceedings**, v. 2005, n. 1, p. 567–570, maio 2005.

O'CALLAGHAN-GORDO, Cristina; ORTA-MARTÍNEZ, Martí; KOGEVINAS, Manolis. Health effects of non-occupational exposure to oil extraction. **Environmental Health**, v. 15, n. 1, p. 56, 2016.

OKONKWO, Chidumeje Ndidi Patience; KUMAR, Lalit; TAYLOR, Subhashni. The Niger Delta wetland ecosystem: What threatens it and why should we protect it? **African Journal of Environmental Science and Technology**, v. 9, n. 5, p. 451–463, 2015.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT - OECD. **The Polluter Pays Principle: Definition, Analysis, Implementation**. Paris: OECD Publishing, 2008.

OSUAGWU, Eze Simpson; OLAIFA, Eseoghene. Effects of oil spills on fish production in the Niger Delta. **PLOS ONE**, v. 13, n. 10, p. 1–14, fev. 2018.

PAPP, R. J. A.; WEST, N. F. Drilling fluids and their environmental management: The introduction of an ester oxygen-based fluid. **The APPEA Journal**, v. 39, n. 1, p. 640–646, 30 jun. 1999.

PASCOE, Sean; INNES, James Pembroke. Economic Impacts of the Development of an Offshore Oil and Gas Industry on Fishing Industries: A Review of Experiences and Assessment Methods. **Reviews in Fisheries Science & Aquaculture**, v. 26, n. 3, p. 350–370, 3 jul. 2018.

PERESICH, R. L.; BURRELL, B. R.; PRENTICE, G. M. Development and Field Trial of a Biodegradable Invert Emulsion Fluid. *In*: Amsterdam, Netherlands: OnePetro, 11 mar. 1991.

PIZZOL, Rosa Amelia; FERRAZ, Fernando Toledo. Riqueza e exclusão social: o paradoxo dos royalties do petróleo e gás. *In*: Niterói, RJ: VI Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 5 jul. 2010.

POLCYN, Jan *et al.* Evaluating the Influences of Health Expenditure, Energy Consumption, and Environmental Pollution on Life Expectancy in Asia. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 20, n. 5, 2023.

PRUDÊNCIO, Jerônimo da Silva; SILVA, Roberto Cezar Rosendo Saraiva; NEY, Vanuza da Silva Pereira. O desenvolvimento econômico e social do município de Macaé: uma análise a partir da indústria de petróleo (2006/2017). **Petróleo, Royalties & Região**, v. 23, n. 1, p. 48–76, 13 jul. 2024.

RAZALI, S. Z. *et al.* Review of biodegradable synthetic-based drilling fluid: Progression, performance and future prospect. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 90, p. 171–186, 2018.

RØE UTVIK, Toril I. Chemical characterisation of produced water from four offshore oil production platforms in the North Sea. **Chemosphere**, v. 39, n. 15, p. 2593–2606, 1999.

SACHS, Jeffrey D.; WARNER, Andrew M. **Natural resource abundance and economic growth**. Cambridge, MA: [S.n.]. Disponível em: <<https://www.nber.org/papers/w5398>>. Acesso em: 9 mar. 2026.

SALTER, Edward; FORD, John. Holistic Environmental Assessment and Offshore Oil Field Exploration and Production. **Marine Pollution Bulletin**, v. 42, n. 1, p. 45–58, 2001.

SARAIVA, Tiago Abilio *et al.* Forecasting Brazil's crude oil production using a multi-Hubbert model variant. **Fuel**, v. 115, p. 24–31, 2014.

SOMERVILLE, H. J. *et al.* Environmental effect of produced water from North Sea oil operations. **Marine Pollution Bulletin**, v. 18, n. 10, p. 549–558, 1987.

STEPHENS, Susan M. *et al.* Sub-Lethal Effects of Exposure of Juvenile Turbot to Oil Produced Water. **Marine Pollution Bulletin**, v. 40, n. 11, p. 928–937, 2000.

SUN, Longde *et al.* Innovation and prospect of geophysical technology in the exploration of deep oil and gas. **Petroleum Exploration and Development**, v. 42, n. 4, p. 454–465, 2015.

THOMAS, José Eduardo. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2001.

UKHUREBOR, Kingsley Eghonghon *et al.* Environmental implications of petroleum spillages in the Niger Delta region of Nigeria: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 293, p. 112872, 2021.

UNITED NATIONS - UN; PREPARATORY COMMITTEE FOR THE UNITED NATIONS CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT; WORKING GROUP III. Rio Declaration on Environment and Development. *In: Report of the United Nations Conference on Environment and Development*. New York: UN, 1992. v. 1 p. 1–6.

XIE, Yuhong *et al.* Advancements and New Frontiers in Offshore Seismic Exploration Technology. **Journal of Earth Science**, v. 35, n. 5, p. 1749–1757, 2024.

ZANUTTIGH, B.; DALLAVALLE, E.; ZAGONARI, F. A novel framework for sustainable decision-making on reusing Oil & Gas offshore platforms with application to the Adriatic Sea. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 211, 1 abr. 2025.

ZHANG, Qi *et al.* Review on the challenges and strategies in oil and gas industry's transition towards carbon neutrality in China. **Petroleum Science**, v. 20, n. 6, p. 3931–3944, 2023.

ZOU, Caineng *et al.* Energy revolution: From a fossil energy era to a new energy era. **Natural Gas Industry B**, v. 3, n. 1, p. 1–11, 2016.

ANEXO A

RELATÓRIOS DE SUSTENTABILIDADE CONSULTADOS

PRIIO. Relatório de Sustentabilidade 2022. Rio de Janeiro: Prio, 2023, 60 p. Disponível em: <https://ri.prio3.com.br/servicos-aos-investidores/relatorio-de-sustentabilidade/>. Acesso em 04 mar. 2026.

PRIIO. Relatório de Sustentabilidade 2023. Rio de Janeiro: Prio, 2024, 118 p. Disponível em: <https://ri.prio3.com.br/servicos-aos-investidores/relatorio-de-sustentabilidade/>. Acesso em 04 mar. 2026.

PRIIO. Relatório de Sustentabilidade 2024. Rio de Janeiro: Prio, 2025, 138 p. Disponível em: <https://ri.prio3.com.br/servicos-aos-investidores/relatorio-de-sustentabilidade/>. Acesso em 04 mar. 2026.

PETROBRAS. Relatório de Sustentabilidade 2022. Rio de Janeiro: Petrobras, 2023, 268 p. Disponível em: <https://petrobras.com.br/en/sustentabilidade/relatorios-anuais>. Acesso em 04 mar. 2026.

PETROBRAS. Relatório de Sustentabilidade 2023. Rio de Janeiro: Petrobras, 2024, 238 p. Disponível em: <https://petrobras.com.br/en/sustentabilidade/relatorios-anuais>. Acesso em 04 mar. 2026.

PETROBRAS. Relatório de Sustentabilidade 2024. Rio de Janeiro: Petrobras, 2025, 236 p. Disponível em: <https://petrobras.com.br/en/sustentabilidade/relatorios-anuais>. Acesso em 04 mar. 2026.