

O Desafio de Descomissionar Instalações Petrolíferas Offshore da Bacia de Campos: Uma Abordagem Fuzzy AHP[☆]

The Challenge of Decommissioning Offshore Oil Facilities in the Campos Basin: A Fuzzy AHP Approach

Fabio Oliveira dos Santos^{1,†}, Vinícius David Corraes¹, Henrique Rego Monteiro da Hora¹
Milton Erthal Junior¹

¹*Instituto Federal Fluminense, Campus Centro, Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil*

[†]**Autor correspondente:** fabio.santos@gsuite.iff.edu.br

Resumo

O objetivo do artigo é avaliar o cenário do descomissionamento de instalações da indústria de óleo e gás *offshore* no Brasil, além de apoiar decisões para o descomissionamento na Bacia de Campos com o emprego do modelo multicritério *Fuzzy AHP* (*Analytic Hierarchy Process*). Por meio de temporalidade das instalações e da vida útil foi feito um diagnóstico das plataformas de petróleo e gás *offshore*. Os critérios (econômico, ambiental, segurança e interferência no mar/navegação) e alternativas (remoção total, remoção parcial, tombamento e manter a estrutura, visando outros usos) de descomissionamento foram elencados com base nos Programas de Descomissionamento de Instalações (PDIs) e na legislação vigente. Atualmente, a maior demanda por descomissionamento é nas bacias de Campos e Sergipe. Nas décadas seguintes as bacias de Campos e Santos responderão pela maior parte do descomissionamento nacional. A remoção completa das plataformas do ambiente marinho foi a decisão menos indicada pelo modelo *Fuzzy AHP*. A manutenção das plataformas no mar, visando outros fins, foi a alternativa mais indicada. O passivo ambiental da indústria de óleo e gás *offshore* do Brasil impõe desafios e oportunidades que exigem planejamento adequado e sustentável, considerando os aspectos ambientais, econômicos e sociais.

Palavras-chave

Descomissionamento • Petróleo e Gás • *Offshore* • Multicritério

Abstract

The objective of the article is to evaluate the decommissioning scenario of offshore oil and gas industry facilities in Brazil, in addition to supporting decisions for decommissioning in the Campos Basin using the *Fuzzy AHP* (*Analytic Hierarchy Process*) multi-criteria model. Using the temporality of the installations and their lifecycle, a diagnosis of offshore oil and gas platforms was made. The criteria (economic, environmental, safety and with the sea/navigation interferences) and alternatives (total removal, partial removal, listing and maintaining the structure, aiming for other uses) for decommissioning were listed based on the Installation Decommissioning Programs (PDIs) and in current legislation. Currently, the greatest demand for decommissioning is in the Campos and Sergipe basins. In the following decades, the Campos and Santos basins will account for the majority of national decommissioning. The complete removal of platforms from the marine environment was the least recommended decision by the *Fuzzy*

[☆] Este artigo é uma versão estendida do trabalho apresentado no XXVII ENMC Encontro Nacional de Modelagem Computacional e XV ECTM Encontro de Ciência e Tecnologia de Materiais, ocorridos em Ilhéus – BA, de 1 a 4 de outubro de 2024.

AHP model. Maintaining the platforms at sea, for other purposes, was the most recommended alternative. The environmental liabilities of Brazil's offshore oil and gas industry pose challenges and opportunities that require adequate and sustainable planning, considering environmental, economic and social aspects.

Keywords

Decommissioning • Oil and Gas • Offshore • Multicriteria

1 Introdução

O descomissionamento de instalações *offshore* é um processo complexo que visa a interrupção definitiva das operações em campos de petróleo e gás, incluindo o fechamento e selagem de poços, a remoção das estruturas instaladas, a gestão de materiais, resíduos e rejeitos, e a restauração ambiental da área afetada, conforme as diretrizes estabelecidas pela “Resolução 817 de 2020 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis [1]. Com uma expectativa média de ciclo de vida de 25 anos, as plataformas podem ser desativadas, recuperadas ou ter sua vida útil estendida, dependendo da viabilidade econômica [1]. Porém, ao final da vida produtiva do campo de petróleo, e antes de realizar o descomissionamento, o ideal é que se explorem todas as opções de desenvolvimento ambiental e econômico possíveis para evitar que ocorra um descomissionamento prematuro [2].

O planejamento do descomissionamento deve ser estruturado de forma estratégica. Isto exige um estudo minucioso e análise técnica para avaliar impactos econômicos, ambientais e técnicos, garantindo eficiência e sustentabilidade no processo. A gestão desse processo é formalizada através do Programa de Descomissionamento de Instalações (PDI), um projeto de engenharia que abrange a interrupção das operações, o abandono e arrasamento de poços, a remoção das instalações e a adequada gestão de resíduos [1].

Frequentemente o processo de descomissionamento é alvo de debates devido à complexidade das alternativas disponíveis, que acarretam diferentes impactos em termos de custos, benefícios e riscos. No cenário nacional, destaca-se o grupo de pesquisa sobre descomissionamento sustentável – DESCOM.SUB [3] que desenvolve pesquisas com abordagens multicritério, utilizando o método PROMETHEE.

A tipologia dos problemas multicritério inclui seleção, ordenação, classificação, descrição e portfólio, sendo necessário examinar todos os parâmetros que influenciam uma decisão. Com a clareza sobre a natureza dessas problemáticas, podemos aplicar o método adequado no processo de tomada de decisão. É relevante destacar que, de acordo com Ishizaka [4], o objetivo da modelagem de Análise Multicritério de Decisão (AMD) é desenvolver uma representação das preferências do decisão que esteja alinhada com um conjunto específico de suposições. Isso visa proporcionar uma orientação clara e consistente ao tomador de decisão na busca pela solução mais adequada e preferencial [5]. Os métodos multicritérios são particularmente adequados para contextos em que a subjetividade é predominante [6] e tanto o método PROMETHEE, quanto o AHP são aplicáveis em cenários complexos.

Cada abordagem para o descomissionamento pode afetar de maneira distinta as partes interessadas e o meio ambiente, resultando em uma gama de considerações que devem ser cuidadosamente avaliadas. Logo, vale destacar que a escolha entre as diversas estratégias de descomissionamento envolve um *trade-off* entre as implicações econômicas, ambientais e sociais, refletindo a natureza multifacetada e controversa deste processo [7]. Considerando essas afirmações surgem as questões de pesquisa do artigo. Qual é a abrangência das plataformas a serem descomissionadas na Bacia de Campos? Qual técnica é mais indicada para realizar o desmonte das plataformas *offshore*? É possível amparar decisões para o passivo ambiental em questão segundo os critérios do desenvolvimento sustentável: ambiental, cultural, econômico e social?

Neste contexto, este artigo se propõe a explorar as intersecções entre engenharia e gestão ambiental para o cenário do descomissionamento, como ênfase na região da Bacia de Campos. Avaliar alternativas de ação para o descomissionamento de instalações *offshore* e identificar, através de um modelo multicritério *Fuzzy AHP*, as opções mais relevantes e as menos indicadas.

2 Metodologia

2.1 Coleta de dados

Esta pesquisa empregou uma abordagem multidisciplinar para investigar o processo de descomissionamento de instalações *offshore* de exploração e produção de petróleo e gás, com foco nos poços maduros da Bacia de Campos.

Para alcançar os objetivos desta pesquisa, foi utilizada uma abordagem metodológica que combinou análise de dados obtidos na literatura e bases específicas e abordagem multicritério.

A primeira etapa do trabalho foi uma análise das instalações *offshore* voltadas para a exploração e produção de petróleo e gás, observando o tempo de operação, com enfoque nos poços maduros e uma atenção particular para aqueles situados na região da Bacia de Campos. Para subsidiar a análise e a descrição do processo de descomissionamento, realizou-se comparações baseadas na temporalidade de produção das instalações, levando em conta a previsão de vida útil das plataformas e na possibilidade de revitalização da Bacia de Campos.

Dados sobre as instalações *offshore* de exploração e produção de petróleo e gás do Brasil e da Bacia de Campos usados na pesquisa foram obtidos nos relatórios de PDIs disponibilizados no Painel Dinâmico. Descomissionamento de Instalações de Exploração e Produção da ANP [8], no site [9] e no Planejamento Estratégico 2024-2028 da Petrobras [10]. À luz dessas informações, é possível realizar uma comparação do cenário da Bacia de Campos frente a outras Bacias, no que tange ao encerramento da produção dos poços explorados por plataformas fixas, considerando a média estipulada.

Ademais, na segunda etapa da pesquisa, foi empregada uma abordagem multicritério para comparar e ranquear as alternativas apresentadas para subsidiar a tomada de decisões sobre os métodos de descomissionamento, fundamentada nos PDIs e nas legislações e regulamentações aplicáveis, em especial para os casos das plataformas fixas presentes na Bacia de Campos.

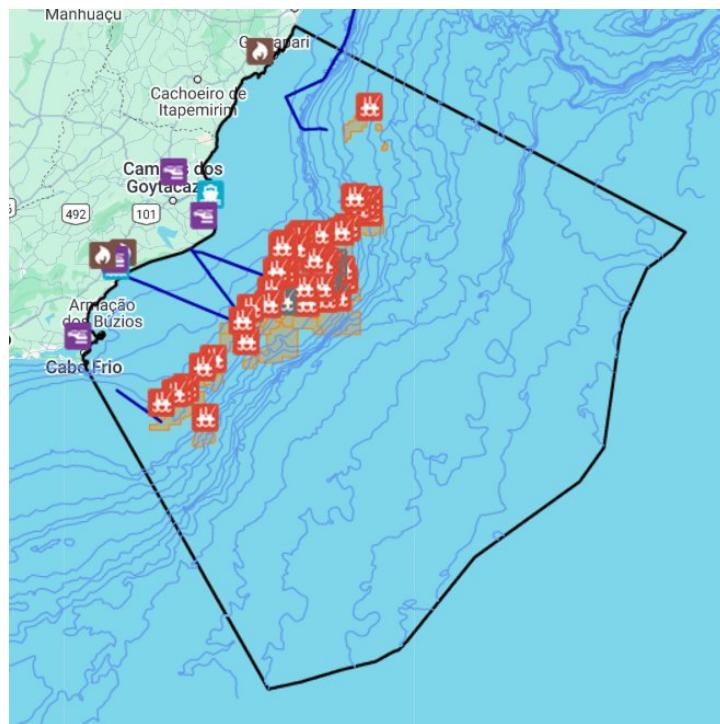


Figura 1: Mapa da Bacia de Campos com identificação dos limites e localização das plataformas.

Fonte: informapetroleo.com.br.

A Bacia de Campos, localizada na Margem Leste Brasileira, região Sudeste do Brasil, é amplamente reconhecida como uma das principais e mais produtivas Bacias *offshore* de petróleo e gás desde a década de 1970 [11]. Ela abrange uma área de aproximadamente 100.000 km², até a cota batimétrica de 3.500 metros, distribuída ao longo do litoral que banha o Norte do Estado do Rio de Janeiro e o Sul do Estado do Espírito Santo. Seus limites são estabelecidos: (i) Ao Norte, pelo Alto de Vitória, com a Bacia do Espírito Santo; (ii) Ao Sul, pelo Alto de Cabo Frio, com a Bacia de Santos.

2.2 Análise Multicritério de Decisão (AMD)

O trabalho emprega a lógica *Fuzzy* combinada com método do Processo Analítico Hierárquico (AHP) para identificar a preferência na escolha das alternativas. Identificar corretamente o tipo de problemática é crucial para selecionar o método mais adequado para resolvê-lo [4]. O AHP é um método de partilha e foi empregado para apoiar

o problema de decisão do presente artigo. A aplicação da teoria dos conjuntos difusos é uma técnica eficaz para simular o raciocínio humano na tomada de decisões [12]. Dessa forma, a incorporação da teoria *Fuzzy* ao método AHP contribuiu para que o processo de avaliação se tornasse mais flexível e alinhado à natureza incerta das preferências dos avaliadores [12]. O conceito central do FAHP reside na utilização de números triangulares *Fuzzy* (TFN - *Triangular Fuzzy Numbers*) para representar preferências, ao invés de números precisos, durante as comparações par a par.

2.3 Alternativas e Critérios

A decisão apontada neste trabalho é para atender as operadoras que exploram óleo e gás na Bacia de Campos com plataformas fixas, atestada a viabilidade técnica para o processo, cabendo assim decidir a alternativa mais sustentável, de acordo com os critérios definidos. Para outras situações ou tipos de instalações *offshore*, é necessário adequar os parâmetros para o cenário, conforme a realidade do ativo.

Diversos países, incluindo o Brasil, estão implementando práticas voltadas para a gestão de suas estruturas marinhas [2]. As alternativas para a gestão de estruturas desativadas incluem: i) remoção total, com descarte em terra ou no fundo do oceano; ii) remoção parcial; iii) tombamento no local; e iv) manutenção para reutilização, refletindo diferentes estratégias em termos de regulamentações, custos e viabilidade [13].

Os pilares do desenvolvimento sustentável, entre eles: proteção ambiental, cultura, economia e sociedade; foram usados para embasar a seleção dos critérios empregados no modelo multicritério, sendo estes adaptados à realidade brasileira. Alguns critérios adotados foram obtidos nas legislações internacionais sobre o tema. Dentro dessas normas, destacam-se aquelas que abordam a desativação de plataformas no alto-mar, como: I. a Convenção de Genebra sobre Plataformas Continentais, de 1958, regulamentada nacionalmente pelo Decreto *Legislativo nº 45, de 1968*. [14]; II. a Convenção de Londres, de 1972, promulgada no Brasil pelo DECRETO No 87.566, DE 16 DE SETEMBRO DE 1982 [15]; III. a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (UNCLOS), de 1982, promulgada no Brasil pelo Decreto Nº 99.165, de 1990 [16]; IV. o *UK Petroleum Act* de 1998 (Parte IV - Abandono de Instalações *Offshore*); e V. a Convenção para a Proteção do Ambiente Marinho no Atlântico Norte (OSPAR), de 1992, juntamente com a Decisão de 1998 [2]. No Golfo do México, o clima político favorece programas de "*rigs-to-reefs*", que convertem plataformas desativadas em recifes artificiais, trazendo benefícios ambientais e econômicos. Em contraste, no Sul da Califórnia, a diversidade de valores entre stakeholders é caracterizada por conflitos, tornando essencial avaliar os impactos ecológicos das alternativas de descomissionamento, que vão desde a remoção completa das estruturas até a permanência de partes no oceano, com grandes implicações para o meio ambiente e comunidades locais [7].

Segundo a ANP, nos PDIs, nenhum critério isolado deve ser considerado como determinante na seleção da alternativa [1]. Em geral, a prioridade atribuída pelos agentes reguladores tende a posicionar o fator econômico como secundário, enquanto os aspectos sociais e ambientais, que asseguram a segurança operacional e a integridade ambiental, são considerados criteriosamente na avaliação. Neste caso, os critérios foram redimensionados para a proposta de análise preponderante à questão ambiental, de forma que critério os normativos e sociais não foram abordados neste momento e foi acrescentado o critério de interferência no espaço marinha (ecossistema marinho e navegação).

A partir da análise documental e revisão de literatura, foram definidos os critérios e alternativas listados na Tabela 1.

Tabela 1: Descrição dos critérios e alternativas definidos.

	<i>Descrição</i>	<i>Descrição</i>
<i>Critérios</i>	C1	Econômica
	C2	Ambiental
	C3	Segurança
	C4	Interferências
<i>Alternativas</i>	A1	Remoção completa
	A2	Remoção parcial
	A3	Tombamento da plataforma
	A4	Deixar no local para outra finalidade

A ponderação de pesos de critérios foi definida através comparação pareada com base na percepção dos autores após análise documental e revisão de literatura, sendo aplicadas na matriz FAHP. Com os graus de prioridade

definidos, forma aplicados os pesos à cada critério e desta forma ponderadas as comparações de cada alternativa, à luz de cada critério de viabilidade.

Tabela 2: Comparação das alternativas.

<i>Viabilidade econômica</i>	<i>remoção completa</i>	<i>remoção parcial</i>	<i>tombamento da plataforma</i>	<i>Deixar no local para finalidade</i>	<i>local outa</i>
<i>Remoção completa</i>	1	1/5	1	1/5	
<i>Remoção parcial</i>	5	1	3	1	
<i>Tombamento da plataforma</i>	1	1/3	1	1/3	
<i>Deixar no local para outa finalidade</i>	5	1	3	1	

Tabela 3: Definição dos pesos de cada critério.

<i>Critérios</i>	<i>Econômica</i>	<i>Ambiental</i>	<i>Segurança</i>	<i>Interferências no espaço marinho / navegação</i>
<i>Peso</i>	0,070	0,342	0,278	0,310

2.4 Fuzzy AHP

Diante do cenário exposto, a aplicação do método *Fuzzy AHP* foi utilizado para caracterizar o grau de preferência de cada alternativa com base nos critérios elencados. Para cada nível da hierarquia, foram realizadas comparações pareadas entre os elementos, utilizando-se uma escala *Fuzzy* para representar as preferências, com base nos termos linguísticos descritos na Tabela 4.

Tabela 4: Termos linguísticos usados para qualificar os critérios à luz das alternativas.

<i>Nº Fuzzy</i>	<i>Termos linguísticos</i>
1,1,1	Pouco Importante (PI)
2,3,4	Razoavelmente Importante (RI)
4,5,6	Importante (I)
6,7,8	Muito Importante (MI)
9,9,9	Extremamente Importante (EI)

O entendimento obtido a partir da literatura, incluindo comentários e análises de critérios realizados por diversos autores e normativas vigentes, foi transscrito para a lógica *Fuzzy* (Quadro 1). Os principais autores consultados foram Lima e Monteiro [10], Da Costa et al. [9] e Schroeder e Love [6]. As normativas relevantes consideradas incluíram as normas da ANP, a regulamentação da Convenção OSPAR do Mar do Norte, a Organização Marítima Internacional (IMO) e documentos da Petrobras, como o Plano Estratégico, relatórios e os Programas de Descomissionamento de Instalações (PDIs).

Quadro 1: Adaptação de comentários e sua transposição para termos linguísticos: PI; RI; I; MI.

	<i>Econômica</i>	<i>Ambiental</i>	<i>Segurança</i>	<i>Interferências no espaço marinho / navegação</i>
<i>Remoção completa</i>	Mais cara (PI)	Alto impacto, uso de explosivos, morte da vida marinha, condução de espécies nativas para a costa (I)	Uso de explosivos (RI)	Devolução do espaço marinho / Sem interferência na área de navegação / alteração no ambiente marinho com retirada de espécies que ao redor da estrutura ali fixada (MI)
<i>Remoção parcial</i>	Intermediário (MI)	Menor interferência no ecossistema marinho (PI)	Pode ser empecilho para navegação (PI)	Maior interferência no espaço marinho (PI)
<i>Tombamento da plataforma</i>	Mais barata (RI)	Utilização da estrutura para vida marinha (recifes artificiais) / Durante o processo, podem ocorrer derramamentos de óleo e liberação de substâncias tóxicas no mar (PI)	Alteração média no espaço marinho (PI)	Maior interferência no espaço marinho (PI)
<i>Deixar no local para outra finalidade</i>	Baixo por conta de não remove, porém exige custo de manutenção e esbarra nas questões legais (I)	Menor interferência no ecossistema marinho (PI)	Risco pelo desgaste de tempo da estrutura (PI)	Mantem a restrição do espaço marinho (PI)

A normalização da matriz de comparação Fuzzy é uma etapa crucial no processo de análise, pois assegura que os valores sejam proporcionais e comparáveis. Considerando a matriz descrita na Tabela 6, a normalização (Tabela 7) foi realizada dividindo cada elemento de determinada coluna pelo total dos elementos dessa coluna, de igual forma em todas as colunas.

Tabela 6: Matrizes de Comparação Pares Fuzzy.

<i>Critério</i>	<i>Econômica</i>	<i>Ambiental</i>	<i>Segurança</i>	<i>Interferências</i>
<i>Econômica</i>	1, 1, 1	0.13, 0.14, 0.17	0.25, 0.33, 0.5	0.17, 0.2, 0.25
<i>Ambiental</i>	6, 7,8	1, 1, 1	1, 1, 1	1, 1, 1
<i>Segurança</i>	2, 3, 4	1, 1, 1	1, 1, 1	1, 1, 1
<i>Interferências</i>	4, 5, 6	1, 1, 1	1, 1, 1	1, 1, 1

Para uma matriz A de dimensão $m \times n$, o valor normalizado de cada elemento \tilde{a}_{ij} é dado pela Eq. (1), como apresentada a seguir:

$$\tilde{a}_{ij}^{norm} = \frac{\tilde{a}_{ij}}{\sum_k \tilde{a}_{kj}} \quad (1)$$

A prioridade *Fuzzy* para cada critério i é a média dos valores normalizados na linha i , como exemplificado na Eq. (2):

$$\tilde{w}_i = \frac{1}{n} \sum_j \tilde{a}_{ij}^{norm} \quad (2)$$

Tabela 7: Matriz de normalização

Critério	Econômica	Ambiental	Segurança	Interferências
Econômica	0.077, 0.063, 0.053	0.042, 0.045, 0.054	0.077, 0.099, 0.143	0.054, 0.063, 0.077
Ambiental	0.462, 0.438, 0.421	0.319, 0.318, 0.315	0.308, 0.3, 0.286	0.315, 0.313, 0.308
Segurança	0.154, 0.188, 0.211	0.319, 0.318, 0.315	0.308, 0.3, 0.286	0.315, 0.313, 0.308
Interferência	0.308, 0.313, 0.316	0.319, 0.318, 0.315	0.308, 0.3, 0.286	0.315, 0.313, 0.308

A Fig. 2 exibe a estrutura hierárquica gerada a partir da definição das alternativas e critérios.

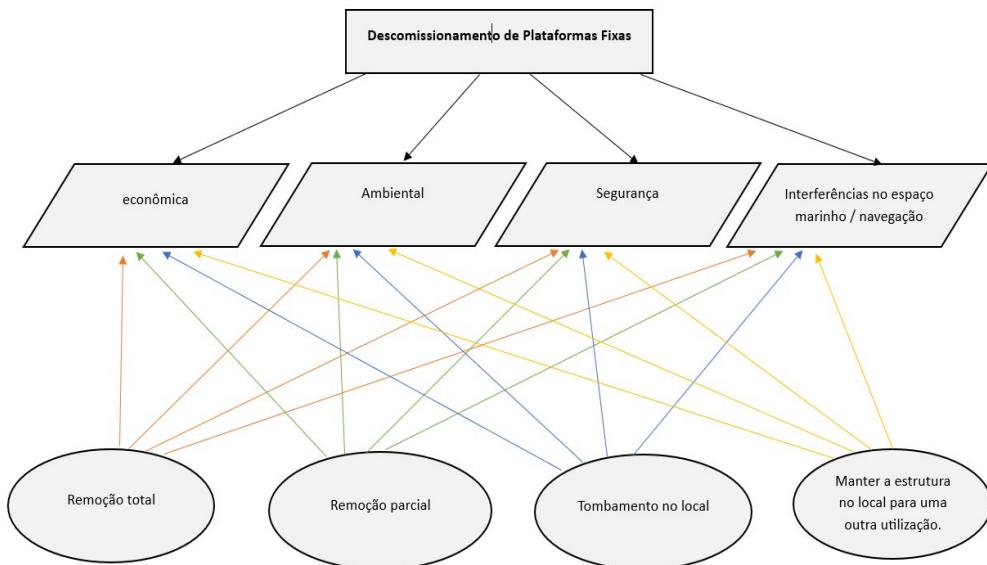


Figura 2: Estrutura Hierárquica do problema proposto.

3 Resultado e Discussão

Atualmente, a Bacia de Campos enfrenta um cenário de maturação e declínio na produção, deixando de ser a líder nacional em petróleo e gás (P&G). Esse declínio é resultado da redução do volume dos reservatórios de petróleo e gás, bem como da idade avançada das plataformas de produção. De acordo com dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis [1], existem no Brasil 125 processos de descomissionamento, dos quais 27 são direcionados à empreendimentos situados na Bacia de Campos. Dentre esses 27 PDIs, 14 referem-se a

plataformas que operam há mais de 25 anos, sendo 11 delas do tipo fixa. Destaca-se que as plataformas mais antigas requerem mais cuidados e recursos para garantir a segurança operacional e minimizar o impacto ambiental.

O gráfico da Fig. 3, desenvolvido a partir de dados disponíveis no relatório anual da ANP (ANP, 2024), exibe a quantidade de plataformas em cada bacia marítima brasileira, separadas por faixas de idade: menor que 15 anos, entre 15 e 25 anos, e maior que 25 anos. Observa-se que a Bacia de Campos e Sergipe tem o maior número de plataformas em processo de descomissionamento e grande parte operando a mais de 25 anos. Apenas na Bacia de Campos são 59 ao todo. Esse cenário destaca a necessidade de uma abordagem estratégica e sustentável para o descomissionamento das plataformas, minimizando o impacto ambiental e econômico. Observa-se no gráfico que as bacias Potiguar e Ceará também despontam no cenário de descomissionamento em médio prazo.

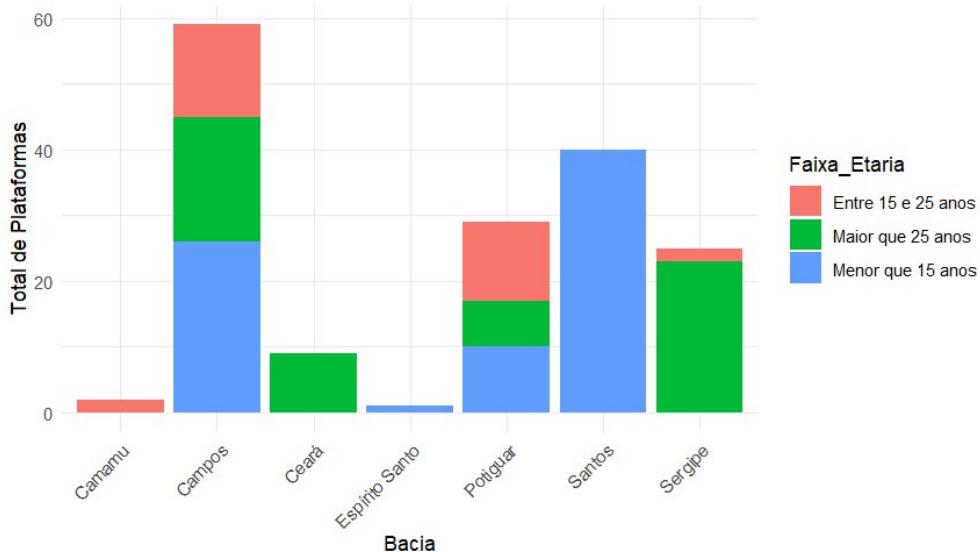


Figura 3: Distribuição de plataformas em fase de descomissionamento por faixa etária em cada Bacia.

O gráfico da Fig. 4 evidencia o declínio da Bacia de Campos no cenário de produção nacional de petróleo e gás, após décadas de liderança. A maturidade dos poços e a descoberta de vastas jazidas de pré-sal na Bacia de Santos têm provocado uma mudança significativa no panorama nacional. Essa transição é refletida nos números de descomissionamentos ocorridos e previstos para os próximos anos na região da Bacia de Campos. Esses dados indicam que a Bacia de Campos alcançou um estágio de maturidade avançada, caracterizado pelo declínio natural da produção. Consequentemente, a relevância da Bacia no cenário nacional tem diminuído. Outras bacias, como a Bacia de Santos, têm assumido um papel cada vez mais proeminente na produção de petróleo e gás brasileira.

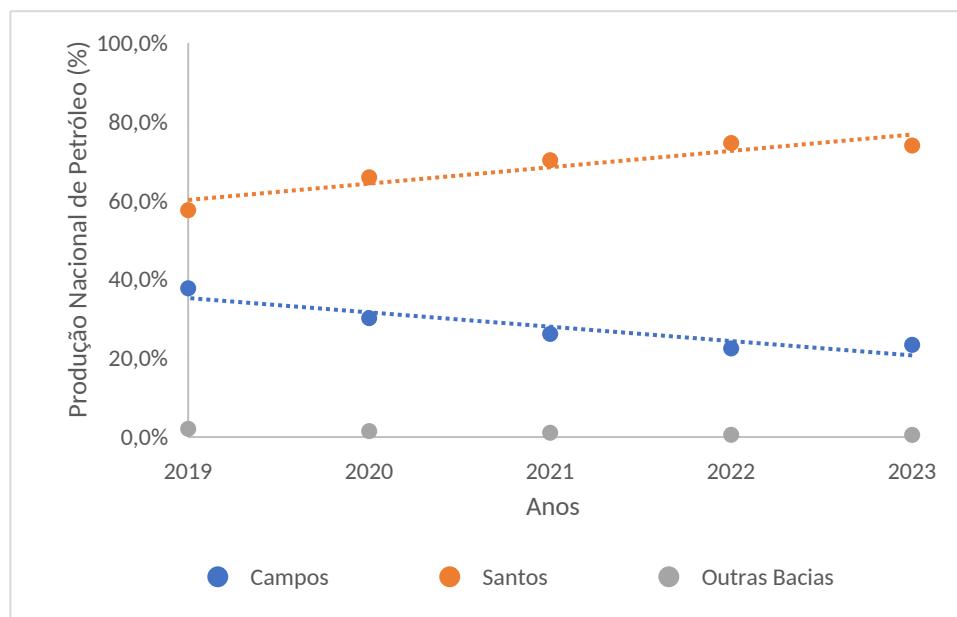


Figura 4: Representatividade da Produção Nacional de Petróleo por Bacia.

Fonte: Relatório anual ANP (2023).

Os resultados da análise de prioridades das alternativas avaliadas, utilizando o método *Fuzzy AHP* foram expostos na Tabela 8 e na Fig. 5. As alternativas foram classificadas com base em sua importância relativa, expressa em porcentagens que refletem a Prioridade Média Global (PMG) de cada opção. Infere-se que no fator econômico as alternativas mais viáveis são as de deixar no local para outra finalidade e de remoção parcial. No quesito ambiental a alternativa de deixar no local para outra finalidade supera as demais, tal como no critério de segurança no processo. Já no que diz respeito a Interferências no espaço marinho e navegação, a alternativa de remoção completa seria a mais indicada.

Tabela 8: Prioridade média Local – Alternativas × critérios

Descomissionamento de plataformas fixas		Critério de viabilidade			
Alternativas		Econômica	Ambiental	Segurança	Interferências no espaço marinho / navegação
Remoção completa		9%	5%	29%	56%
Remoção parcial		40%	38%	23%	14%
Tombamento		12%	11%	7%	16%
Deixar no local para outra finalidade		40%	45%	41%	11%

Em uma análise visual fundamentada na Prioridade Média Local (PML), é evidente a preponderância de certos critérios em relação às alternativas de descomissionamento. No que diz respeito ao critério de viabilidade econômica, as alternativas de remoção parcial e deixar no local se destacam, sendo as mais bem avaliadas. Essa tendência se repete sob o critério ambiental; no entanto, a alternativa de deixar no local sobressai, apresentando um percentual de preferência ainda mais elevado. No critério de segurança, a opção de deixar no local posiciona-se significativamente à frente das demais alternativas. Por outro lado, no que se refere à interferência no espaço marinho, a alternativa de remoção total se destaca em comparação com as outras. A análise PML das alternativas de descomissionamento indica que a opção de "Deixar no local para outra finalidade" se sobressai em todos os critérios, especialmente em viabilidade econômica e ambiental. Essa alternativa não apenas minimiza as interferências no espaço marinho e na navegação, mas também abre possibilidades para a reutilização das estruturas existentes (Fig. 5).

Influência de cada critério em cada alternativa

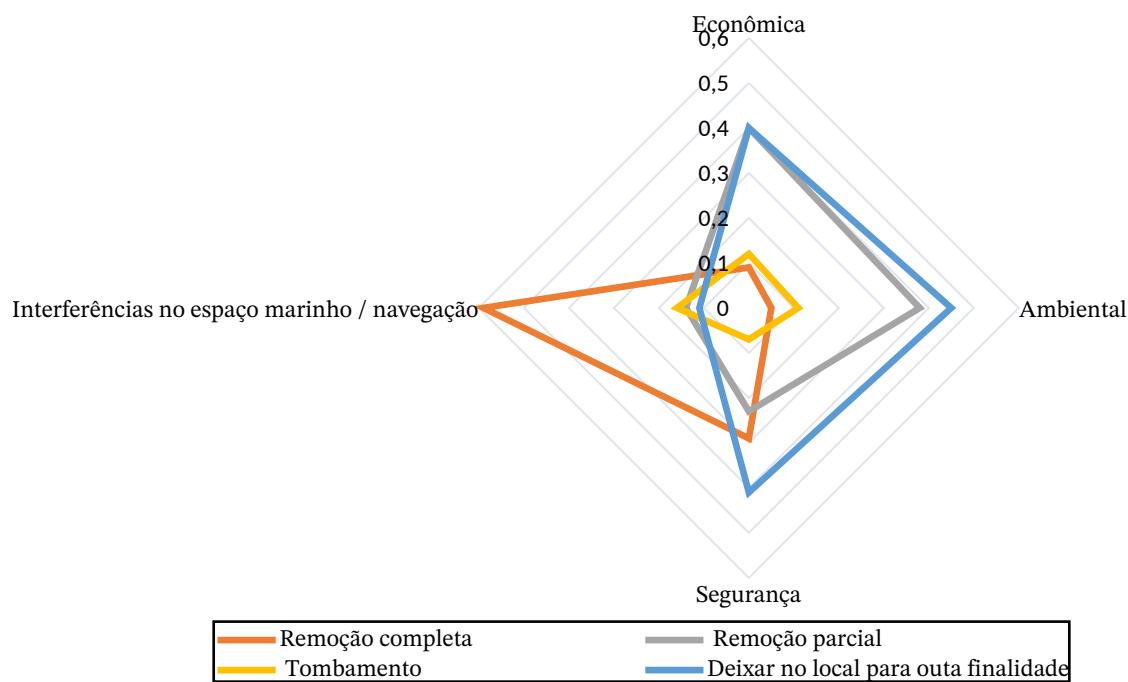


Figura 5: Relevância de cada critério para cada alternativa.

O resultado final do método *Fuzzy AHP* sugere que a opção mais indicada seria a manutenção das plataformas no mar. Por outro lado, a opção de remoção completa se mostrou a menos recomendada (Fig. 6).

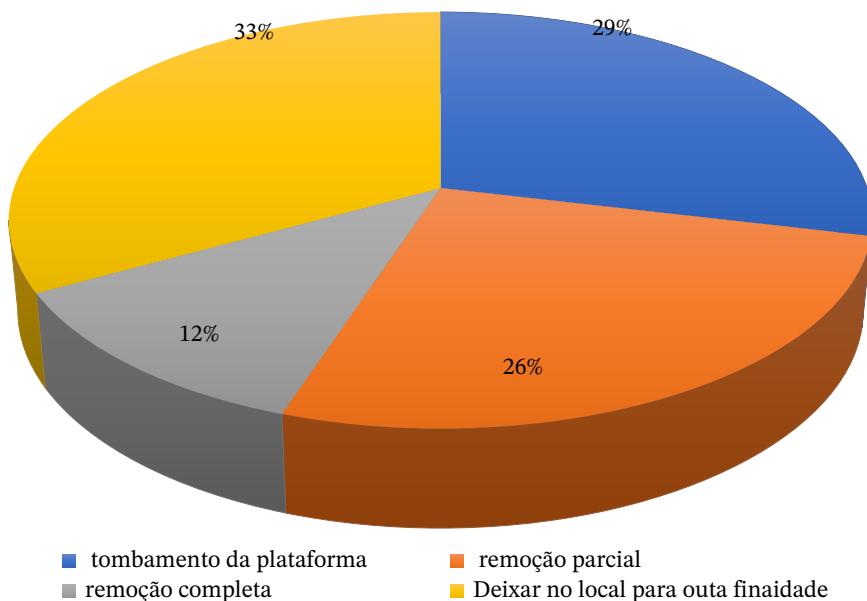


Figura 6: Prioridade Média Global, de acordo com o método *Fuzzy AHP*.

Deixar no Local para Outra Finalidade (33%)

Esta alternativa obteve a maior prioridade entre as opções avaliadas, indicando que é a mais preferida. Isso sugere que a manutenção do material no local, com a possibilidade de reutilização futura, é considerada a solução mais vantajosa ambientalmente. Esta alternativa é debatida com ponderações no que tange a conservação das estruturas

submersas para que haja a possibilidade de usos alternativos como hotel *offshore*, maricultura/aquacultura, energia eólica/ondas geração de energia. Contudo, conforme a Resolução ANP nº 817/2020, todas as instalações devem ser removidas da área de concessão. Alternativas como a remoção parcial ou a permanência no local são permitidas apenas em caráter excepcional, e desde que atendam aos requisitos aplicáveis. Há um emergente debate sobre a necessidade de modernização da legislação sobre o descomissionamento. O senador Rogério Carvalho, por meio da indicação (INS) 66/2024, propôs que a Petrobras avalie a viabilidade do reaproveitamento de plataformas desativadas para atividades turísticas e econômicas. Carvalho argumenta que a iniciativa deve ser conduzida pela iniciativa privada, evitando o uso de recursos públicos, e sugere a utilização das plataformas para aquicultura, fixação de recifes de coral e construção de complexos turísticos, inspirando-se no projeto "The Rig" da Arábia Saudita. Ele destaca que essa abordagem poderia mitigar os impactos econômicos negativos do descomissionamento das plataformas, especialmente nas regiões do Nordeste, onde as condições climáticas são favoráveis ao turismo. A proposta visa criar alternativas sustentáveis e perenes que beneficiem as comunidades locais, aproveitando as características únicas das áreas afetadas [17].

Remoção Completa (29%)

A segunda alternativa, a remoção completa, também apresenta uma porcentagem significativa. Isso indica que, apesar de não ser a opção mais preferida, ainda é vista como uma solução viável e relevante. De acordo com a Organização Marítima Internacional (IMO), plataformas de até quatro mil toneladas e que operam em profundidades de até 55 metros devem ser totalmente removidas. No caso do Brasil, que é signatário das diretrizes da IMO, a prática usual é a remoção parcial, visto que as unidades pesam mais de quatro mil toneladas e a lâmina d'água é superior a 55 metros. Na remoção total, estima-se a valoração dos materiais e resíduos retirados, sendo recicláveis e reutilizáveis, com a proposta de promover maior sustentabilidade do processo. O Projeto de Descomissionamento da Petrobrás PIBQ-1 prevê a remoção total do Sistema de Sustentação e da Plataforma, que serão transportados para um porto, desmantelados e vendidos em terra. A preocupação com a disposição em terra é a proliferação do coral-sol (*Tubastraea spp*), uma espécie invasora que se espalha rapidamente ao longo da costa brasileira, prejudicando o crescimento e a sobrevivência das espécies nativas de corais e outros organismos marinhos, levando à degradação dos ecossistemas recifais e alterando o equilíbrio ecológico das áreas afetadas [7].

Remoção Parcial (26%)

Com uma prioridade ligeiramente inferior, a remoção parcial é considerada uma alternativa possível, mas menos favorável em comparação com as duas opções anteriores. Neste processo de descomissionamento de plataformas *offshore*, os poços são encerrados e os condutores e *topsides* são retirados. Parte da jaqueta, a estrutura de suporte da plataforma, também é removida, mas uma parte da estrutura e possivelmente um acúmulo de conchas podem permanecer no local. Se necessário, são instalados auxílios à navegação para garantir a segurança das embarcações que passam pela área [11].

Tombamento da Plataforma (12%)

Esta alternativa recebeu a menor prioridade, sugerindo que é a menos preferida entre as opções disponíveis. As razões que justificam a menor preferência por esta alternativa estão embasadas nas preocupações sobre a viabilidade e os riscos associados a essa abordagem. No processo de tombamento, são utilizados explosivos para desacoplar a jaqueta do fundo do mar, e uma barcaça é usada para posicionar a jaqueta no fundo do mar. Auxílios à navegação são instalados, se necessário, para garantir a segurança das embarcações na área [11].

4 Conclusões

O resultado do modelo multicritério *Fuzzy AHP*, usando critérios embasados nos princípios do Desenvolvimento Sustentável e legislação nacional e internacional, demonstram uma clara preferência por deixar os materiais no local para outra finalidade. As alternativas de remoção parcial e tombamento da plataforma são apontadas pelo modelo como preferência intermediária. A alternativa de remoção completa é a menos indicada. Esses resultados podem orientar a tomada de decisões sobre a gestão dos materiais avaliados, levando em conta as prioridades estabelecidas. No entanto, há uma lacuna em relação a diversos fatores que podem influenciar a escolha do "ótimo" no modelo de descomissionamento sustentável. Isso demanda novas pesquisas que abordem de forma mais robusta os impactos ambientais, tanto os já catalogados quanto os ainda não identificados.

Além disso, é necessário desenvolver modelagens que sustentem os projetos de descomissionamento, considerando os avanços tecnológicos e inovações, atualizar o arcabouço legal relacionado ao tema e realizar uma análise mais abrangente dos impactos socioeconômicos envolvidos nesse processo. Diante desse contexto, é

fundamental que sejam adotadas estratégias para otimizar a produção remanescente e minimizar o impacto do processo de descomissionamento, tornando sine qua non planejar e executar os descomissionamentos de forma responsável e sustentável, considerando os aspectos ambientais, econômicos e sociais.

Referências

- [1] Agência Nacional Do Petróleo, Gás Natural E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil), “Resolução ANP nº 817, de 24 de abril de 2020,” *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 27 abr. 2020. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-817-2020>
- [2] F. Delgado, “Aspectos socioeconômicos por trás das atividades de descomissionamento: lições aprendidas do outro lado do Atlântico,” FGV ENERGIA, Rio de Janeiro, Brasil, Relatório Técnico 9:3, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional/arq/di/caderno_de_descomissionamento-aspectos-socio-economicos-fgv.pdf
- [3] DESCOM.SUB. “Método multicritério,” DESCOM.SUB, Coordenação geral do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE/UFRJ). Disponível em: <https://descomsub.com/metodo-multicriterio/>
- [4] A. Ishizaka, E P. Nemery, *Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software*, Chichester: UK: Wiley, 2013. Disponível em: http://www.wiley.com/go/multi_criteria_decision_analysis
- [5] V. Belton, e T. J. Stewart, *Multiple Criteria Decision Analysis*, Boston, US: Springer, 2002.
- [6] V. A. P. Salomon, “Auxílio à decisão para a adoção de políticas de compras,” *Produto e Produção*. vol. 6, no. 1, pp. 1-8, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.22456/1983-8026.1442>
- [7] D. M. Schroeder e M. S. Love, “Ecological and political issues surrounding decommissioning of offshore oil facilities in the Southern California Bight,” *Ocean & Coastal Management*, vol. 47, no. 1–2, pp. 21–48, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2004.03.002>
- [8] Agência Nacional Do Petróleo, Gás Natural E Biocombustíveis (Brasil), “Painel Dinâmico. Descomissionamento de Instalações de Exploração e Produção”, Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZjFlMWI0MDgtNWNiNC00OTZlWI3NGQtOGM3MjQwODhjMTMwIiwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTI0YTytNGI0Mi1iN2VmLTEyNGFmY2FkYzkxMyJ9>
- [9] PETROBRAS, Exploração e produção. Petrobras. Disponível em: <https://petrobras.com.br/sustabilidade/descomissionamento-de-plataformas>
- [10] PETROBRAS, “Plano estratégico 2024-2028”, PETROBRAS, Brasil, Relatório Técnico, 2024. Disponível em: <https://petrobras.com.br/quem-somos/estrategia>
- [11] A. Y. Portella, “Bacia de Campos: Sumário Geológico e Setores em Oferta,” Agencia Nacional de Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis, Relatório Técnico da Superintendência de Definição de Blocos – SDB, Brasil. 2017. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/rodadas-anp/rodadas-concluidas/concessao-de-blocos-exploratorios/15a-rodada-licitacoes-blocos/arquivos/areas-oferecidas/sumario_geologico_r15_campos.pdf
- [12] T. F. Ulhoa, F. C. Camioto, R. H. P. Lima, e L. Osiro, “Integração da Análise Conjunta e Fuzzy-AHP para Identificação e Mensuração de Atributos em Produtos”, *Revista de Ciências Exatas e Tecnologia*, vol. 13, no. 13, pp. 47-56, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.17921/1890-1793.2018v13n13p47-56>
- [13] F. M. Ruivo, “Descomissionamento de sistemas de produção offshore”, Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Petróleo – UNICAMP, Campinas, Brasil, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2001.225364>

- [14] Brasil, “Decreto Legislativo nº 45, de 1968”, *Adesão do Governo brasileiro a quatro Convenções sobre o Direito do Mar, concluídas em Genebra, a 29 de abril de 1958*. Brasília, 1968.
- [15] Brasil, “Decreto nº 87.566, de 1982”, *Prevenção da Poluição Marinha por Alijamento de Resíduos e Outras Matérias, concluída em Londres, a 29 de dezembro de 1972*. Brasília, 1982.
- [16] Brasil, “Decreto nº 99.165, de 1990”, *Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar*. Brasília, 1990.
- [17] Agência Senado, "Rogério Carvalho sugere turismo em plataformas desativadas da Petrobras", Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2024/10/01/rogerio-carvalho-sugere-turismo-em-plataformas-desativadas-da-petrobras>