



ANÁLISE ESTOCÁSTICA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA DESCOMISSONAMENTO DE DUTOS RÍGIDOS SUBMARINOS

Giselle da Silva Távora

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Mestre em Engenharia Oceânica.

Orientadores: Jean David Job Emmanuel
Marie Caprace
Marcelo Igor Lourenço de
Souza

Rio de Janeiro
Setembro de 2019

ANÁLISE ESTOCÁSTICA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA
DESCOMISSIONAMENTO DE DUTOS RÍGIDOS SUBMARINOS

Giselle da Silva Távora

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA OCEÂNICA.

Examinada por:

Prof. Jean David Job Emmanuel Marie Caprace, Ph.D.

Prof. Marcelo Igor Lourenço de Souza, D. Sc.

Prof. Ilson Paranhos Pasqualino, D.Sc.

Prof. Carlos Eduardo Durange de Carvalho Infante, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
SETEMBRO DE 2019

Távora, Giselle da Silva

Análise estocástica de decisão multicritério para descomissionamento de dutos rígidos submarinos / Giselle da Silva Távora – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2019.

XIV, 96 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Jean David Job Emmanuel Marie
Caprace

Marcelo Igor Lourenço de Souza

Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE/ Programa de Engenharia Oceânica, 2019.

Referências Bibliográficas: p. 92-96.

I. Descomissionamento, 2. MCDA, 3. Dutos rígidos, 4. PROMETHEE. I. Caprace, Jean David Job Emmanuel Marie *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Oceânica. III. Título.

Dedico este trabalho aos meus pais, graças a vocês que aprendi desde cedo a importância do estudo.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me permitir acreditar que tudo é possível, me dando suporte em meio a tantas dificuldades durante todos esses anos da minha vida.

Dedico este trabalho à minha mãe, mulher guerreira e de fibra que me ensinou a sorrir e ter fé mesmo nos momentos de dor.

Aos meus orientadores Jean David Caprace e Marcelo Igor de Souza pela orientação dedicada e todo apoio durante esses anos de trabalho.

Ao professor Ilson Pasqualino pela oportunidade de me receber no laboratório.

Ao meu pai por me dar oportunidade de estudar e ser quem eu sou hoje.

Ao meu noivo por compreender em muitos momentos ausentes e estar ao meu lado me dando apoio e suporte.

A minha avó por ter me acolhido durante todos esses anos, me dando suporte em tudo que lhe foi possível.

Aos meus irmãos por tudo que fizeram e fazem por mim, sou eternamente grata a vocês.

As minhas amigas de trabalho Geovana Drumond, Luisa Nogueira e Rafaela Ramos, por todo apoio e carinho recebidos diariamente.

Aos meus sobrinhos que, com a doçura no olhar, fazem-me lutar, diariamente, por um mundo melhor.

Ao Laboratório de Tecnologia Submarina da COPPE.

E de modo geral, a todos meus familiares que estiveram sempre presentes em minha vida.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ANÁLISE ESTOCÁSTICA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA DESCOMISSIONAMENTO DE DUTOS RÍGIDOS SUBMARINOS

Giselle da Silva Távora

Setembro / 2019

Orientadores: Jean David Job Emmanuel Marie Caprace

Marcelo Igor Lourenço de Souza

Programa: Engenharia Oceânica

O descomissionamento de estruturas submarinas está ganhando importância crescente no Brasil, à medida que os campos maduros atingem seu fim de vida. Portanto, há uma necessidade crescente de análises robustas sobre, quando e como descomissionar eficientemente as instalações submarinas. O objetivo deste trabalho é fornecer uma metodologia de análise de decisão multicritério (MCDA), estocástica para ajudar o tomador de decisão a selecionar a melhor alternativa para o descomissionamento de dutos offshore rígidos. Um estudo de caso baseado em um duto submarino rígido localizado no campo de Cação (bacia do Espírito Santo, Brasil) é apresentado para ilustrar a aplicabilidade da metodologia. As seguintes alternativas de descomissionamento são consideradas: deixar no local sem remediação, deposição de rochas nas extremidades do duto, remoção total por corte e elevação e, finalmente, remoção total por S-lay reverso. Para avaliar alternativas de descomissionamento, alguns aspectos devem ser examinados, nomeadamente aspectos técnicos e de engenharia, considerações de segurança, impactos ambientais marinhos e terrestres, consumo de recursos naturais e energia, consequências nas atividades das comunidades e aspectos econômicos. Os resultados apontam o abandono total da linha como sendo a alternativa que melhor se aplica nesse contexto, uma vez que a opção de descomissionar já havia sido determinada.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

STOCHASTIC ANALYSIS OF A MULTI-CRITERIA DECISION FOR
DECOMMISSIONING OFFSHORE RIGID PIPELINES

Giselle da Silva Távora

September / 2019

Advisors: Jean David Job Emmanuel Marie Caprace

Marcelo Igor Lourenço de Souza

Department: Ocean Engineering

Decommissioning of subsea structures is gaining increased importance in Brazil as mature fields reach their end of life. Therefore, there is an increasing need for robust analyses on whether, when, and how to efficiently decommission subsea facilities. The aim of this paper is to provide a stochastic multicriteria decision analysis (MCDA) methodology to help the decision maker select the best alternative for decommissioning rigid offshore pipelines. A case study based on a rigid submarine pipeline located in the Cação field (Espírito Santo basin, Brazil) is presented to illustrate the applicability of the methodology. The following decommissioning alternatives are considered: leaving in situ with no further remediation, leaving in situ with rock dumping of pipeline ends, removing whole length by cut and lift, and finally, removing whole length by reverse S-lay. To evaluate decommissioning alternatives some aspects should be examined, such as technical and engineering aspects, safety considerations, marine and terrestrial environmental impacts, consumption of natural resources and energy, consequences on the activities of communities as well as economic aspects. The results indicate the total abandonment of the line as the alternative that best applies in this context, since the decommissioning option had already been determined.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2 OBJETIVO	2
1.3 RELEVÂNCIA DO ESTUDO	3
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	4
2. REFERENCIAL TEÓRICO	5
2.1 O DESCOMISSIONAMENTO	5
2.1.1 Sistema submarino	10
2.2 MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO (MCDA).....	14
2.2.1 PROMETHEE	16
2.3 FATORES DECISIVOS PARA SE DESCOMISSIONAR	21
2.4 REGULAMENTAÇÕES INTERNACIONAIS	22
2.4.1 Convenção de Genebra de 1958 (<i>The continental shelf convention and the high seas continental</i>)	22
2.4.2 Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (<i>United Nations Convention on the Law of the Sea – UNCLOS, 1982</i>)	23
2.4.3 Diretrizes da IMO (1989).....	24
2.4.4 OSPAR (<i>Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic</i>).....	26
2.5 O QUADRO NORMATIVO NO BRASIL	27
2.5.1 Resoluções CONAMA n° 23/94	28
2.5.2 Resolução CONAMA n° 237/97.....	30
2.5.3 Resolução ANP n° 25/02	30
2.5.4 Resolução ANP n° 27/06.....	31
2.5.5 Resolução ANP n° 25/2014	32
2.5.6 Resolução ANP n° 41/2015	33
2.6 REGULAMENTAÇÕES INTERNACIONAIS X REGULAMENTAÇÕES NACIONAIS	34
3. DUTOS RÍGIDOS E OPÇÕES DE DESCOMISSIONAMENTO	36
3.1 Condições dos dutos	37
3.2 Opções de descomissionamento dos dutos	38
3.2.1 Remoção por bobina reversa.....	40
3.2.2 Remoção por S-LAY / J-LAY reverso	41
3.2.3 Remoção por corte e içamento.....	42
3.2.4 Abandono com intervenção mínima	43

3.2.5 Abandono com intervenção moderada	43
3.2.6 Abandono com intervenção significativa	43
4. METODOLOGIA	45
4.1 ESTRUTURAÇÃO DO ESTUDO	45
4.2 OBTENÇÃO DE DADOS E ESTUDO DE CASO	45
4.3 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS E SUBCRITÉRIOS	47
4.3.1 Avaliação dos subcritérios de segurança	49
4.3.2 Avaliação dos subcritérios ambientais.....	50
4.3.3 Avaliação dos subcritérios de sociais	58
4.3.4 Avaliação do subcritério técnico.....	61
4.3.5 Avaliação do subcritério econômico.....	63
4.4 DETERMINAÇÃO DOS PESOS AOS CRITÉRIOS E SUBCRITÉRIOS	64
4.4.1 Método SIMOS	65
4.5 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	78
4.5.1 Simulação Monte Carlo	80
4.5.2 Distribuição triangular	80
5. RESULTADOS.....	86
6. CONCLUSÃO	90
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ilustração representativa de um sistema marítimo de produção. FONTE: https://i0.wp.com/static.hsw.com.br/gif/exploracao-petroleo-mar-1.jpg	9
Figura 2: Alternativas existentes para descomissionamento dos equipamentos pontuais. Fonte: Autor.....	11
Figura 3: Alternativas existentes para descomissionamento de dutos flexível. Fonte: Autor.....	12
Figura 4: Conceito básico de uma análise multicritério. Fonte: Autor.....	16
Figura 5: Cruzamento de dutos submarinos. Fonte: http://www.bmpworldwide.com...	37
Figura 6: Duto com trechos enterrados e expostos. Fonte: http://www.neil-brown.com/pipeline-geotechnics-our-entry-points-for-design	38
Figura 7: Opções de descomissionamento de dutos rígidos.....	39
Figura 8: Embarcação para instalação e remoção de dutos por bobina reversa. FONTE: (MATTOS, 2012)	41
Figura 9: Embarcação para instalação e remoção de dutos por "S-Lay". FONTE: (MATTOS, 2012).....	41
Figura 10: Embarcação para instalação e remoção de dutos por "J-Lay". FONTE: (MATTOS, 2012).....	42
Figura 11: Plataformas de Cação.....	46
Figura 12: Critérios e subcritérios abordados no estudo de caso. FONTE: (DNV-GL, 2018).....	48
Figura 13: Avaliação do Escore de Importância do Impacto para cada fator.....	52
Figura 14: Matriz para avaliação do escore de risco de disseminação de espécies invasoras	55
Figura 15: Avaliação da quantidade de resíduos gerados.....	56
Figura 16: Matriz de risco ambiental de derramamento no mar.....	57
Figura 17: Avaliação qualitativa do risco ambiental de legado <i>in situ</i>	58
Figura 18: Avaliação do Escore de Importância do Impacto para cada fator.....	60
Figura 19: Modelo QUESTOR para o cálculo do custo de descomissionamento do duto	64
Figura 20: Exemplo do número de simulações necessárias para atingir a convergência	84
Figura 21: Exemplo do <i>software</i> VISUAL PROMETHEE utilizado para a simulação e como os dados são inseridos.....	85
Figura 22: MACRO elaborada para otimização dos resultados	86
Figura 23: Diagrama de caixa com o resultado da simulação	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Plataformas no Brasil em janeiro 2017 e janeiro 2019. Fonte: Marinha do Brasil.....	7
Tabela 2: Programas de Desativação de Instalações Offshore analisados/em análise pela SSM. FONTE: ANP	7
Tabela 3: Tipos de dutos e suas características. FONTE: PRADO, 2015.....	13
Tabela 4: Avaliação de n alternativas para k critério	17
Tabela 5: Licenças listadas no Art. 5º da Resolução CONAMA 23/94.....	28
Tabela 6: Instrumentos listados no Art. 6º da Resolução CONAMA 23/94.....	29
Tabela 7: Comparação entre as normativas brasileiras e internacionais sobre o descomissionamento.....	34
Tabela 8: Avaliação do escore de magnitude do impacto ambiental	50
Tabela 9: Avaliação do escore de sensibilidade do fator ambiental.....	51
Tabela 10: Subfatores de magnitude da fonte	53
Tabela 11: Subfatores dos meios de dispersão da fonte	54
Tabela 12: Avaliação do escore de magnitude do impacto social em terra.....	59
Tabela 13: Avaliação do escore de sensibilidade do impacto social em terra.....	59
Tabela 14: Avaliação dos impactos sobre a viabilidade técnica de cada opção.....	61
Tabela 15: Resposta da entrevista realizada com os técnicos	66
Tabela 16: Referência aos critérios adotados	66
Tabela 17: Cálculo do peso pelo método de SIMOS convencional para o entrevistado 1	67
Tabela 18: Cálculo do peso pelo método de SIMOS convencional para o entrevistado 2	67
Tabela 19: Cálculo do peso pelo método de SIMOS convencional para o entrevistado 3	68
Tabela 20: Cálculo do peso não normalizado pelo método revisado de SIMOS para o entrevistado 1.....	69
Tabela 21: Cálculo do peso não normalizado pelo método revisado de SIMOS para o entrevistado 2.....	69
Tabela 22: Cálculo do peso não normalizado pelo método revisado de SIMOS para o entrevistado 3.....	70
Tabela 23: Cálculo do peso normalizado não corrigido para o entrevistado 1.....	71
Tabela 24: Cálculo do peso normalizado não corrigido para o entrevistado 2.....	71
Tabela 25: Cálculo do peso normalizado não corrigido para o entrevistado 3.....	72
Tabela 26: Cálculo da relação di e di para o entrevistado 1	73
Tabela 27: Cálculo da relação di e di para o entrevistado 2	73
Tabela 28: Cálculo da relação di e di para o entrevistado 3	73
Tabela 29: Lista L e lista L formadas através da relação di e di para o entrevistado 1	74
Tabela 30: Lista L e lista L formadas através da relação di e di para o entrevistado 2	75
Tabela 31: Lista L e lista L formadas através da relação di e di para o entrevistado 3	75
Tabela 32: Peso normalizado e corrigido do entrevistado 1.....	76
Tabela 33: Peso normalizado e corrigido do entrevistado 2.....	76
Tabela 34: Peso normalizado e corrigido do entrevistado 3.....	77

Tabela 35: Compilação dos resultados referentes aos entrevistados e aos critérios.....	77
Tabela 36: Pesos dos critérios normalizados	77
Tabela 37: Média do peso dos critérios para os entrevistados	78
Tabela 38: Peso dos critérios e subcritérios atribuídos ao cenário 2.....	79
Tabela 39: Peso dos subcritérios atribuídos ao cenário 3.....	79
Tabela 40: Modelo de cálculo da sensibilidade realizada para o subcritério ambiental.	81
Tabela 41: Matriz referente ao resultado dos cenários adotados para realização da distribuição triangular.....	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP - Analytic Hierarchy Process

ANM - Árvore de Natal Molhada

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

APR - Análise Preliminar de Risco

CGPEG - Coordenação Geral de Petróleo e Gás

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CNAE - Classificação Nacional de Atividades Econômicas

EIA - Estudo de Impacto Ambiental

FAR - Fatal Accident Rate

GEE - Gases de Efeito Estufa

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo

IMO - International Maritime Organization

MCDA - Multiple-Criteria Decision Analysis

OSPAR - Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic

PLET - Pipeline End Termination

PLEM - Pipeline End Manifold

PLL - Potential Loss of Life

PLSV - Pipe Laying Support Vessels

PROMETHEE – Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation

RIMA - Relatório De Impacto Ambiental

ROV - Remotely Operated Underwater Vehicle

SGIP - Sistema De Gerenciamento Da Integridade De Poços

SISNAMA - Sistema Nacional Do Meio Ambiente

UNCLOS - United Nations Convention on the Law of the Sea

GLOSSÁRIO

DUMPING: Deposição de rochas em determinadas regiões ao longo da rota do duto.

FLOWLINES: Trecho estático de linha de produção rígida ou flexível, apoiado no leito marinho ou no solo, permitindo, assim, a condução dos fluidos produzidos.

MANIFOLD: Conjunto de válvulas e acessórios que serve para direcionar a produção de vários poços para um duto coletor, o qual conduz a produção total para uma unidade de produção.

OFFSHORE: Exploração afastada da costa, localizado em alto mar.

ONSHORE: Exploração no continente, em terra firme.

PIG: Dispositivo inserido em uma tubulação a qual ele irá percorrer por meio do diferencial de pressão, com o objetivo de remover depósitos indesejados, inspecionar aspectos dimensionais e/ou separar bateladas de fluidos em bombeamento.

PIPE LAYING SUPPORT VESSELS (PLSV): Embarcação de instalação de duto.

PIPELINE: Dutos de exportação, caracterizado por possuírem grandes diâmetros.

POTENCIAL LOSS OF LIFE (PLL): Número esperado de mortes estatísticas por ano.

RISERS: É um tubo que liga uma estrutura de produção offshore flutuante, ou uma plataforma de perfuração, a um sistema submarino para fins produtivos, como a perfuração, produção, injeção e exportação, ou para perfuração, completação e intervenção.

REMOTELY OPERATED UNDERWATER VEHICLE (ROV): Um veículo submarino operado remotamente por uma pessoa a bordo de uma embarcação. É utilizado para realizar e supervisionar a montagem de equipamentos de exploração e produção em grandes profundidades.

STAKEHOLDERS: Significa público estratégico e descreve uma pessoa ou grupo que tem interesse em uma empresa, negócio ou indústria, podendo ou não ter feito um investimento neles.

STRINGER: Rampa de lançamento de dutos existente em uma embarcação.

SUBSEA: É equipamento oceânico totalmente submerso, operações ou aplicações, especialmente quando alguma distância em alto-mar, em águas oceânicas profundas, ou no fundo do mar.

TOPSIDE: Parte superior de uma plataforma, que inclui a planta de processo, suas utilidades e seu alojamento.

JUMPER: Segmento curto de tubo flexível usado para conectar equipamentos submarinos.

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Nos últimos anos, o descomissionamento das plataformas de produção e equipamentos submarinos na indústria de óleo e gás vem se tornando cada vez mais relevantes, principalmente nos campos brasileiros devido ao fim da vida útil de diversos campos maduros.

No entanto, há um novo mercado que precisa ser explorado pela indústria petrolífera, sendo capazes de absorver a demanda e criando soluções que reduzam riscos, impactos e custos durante todo o processo. Recentemente, com a queda do preço do barril para valores abaixo do esperado, a pressão para se descomissionar aumenta, perdendo a viabilidade de se estender a vida útil de muitas plataformas cuja produção de óleo vem decrescendo para níveis abaixo do retorno econômico desejado.

O contexto brasileiro atual de produção de petróleo e gás encontra-se na maior parte em campos de águas profundas e ultra profundas, o que torna necessário a adequação de todo o processo e equipamento envolvido confrontando com os inúmeros desafios tecnológicos encontrados.

Embora o cenário *offshore* seja composto por um vasto número de equipamentos, os dutos se destacam por serem elementos fundamentais para garantir a drenagem e escoamento dos fluidos provenientes da produção. Durante o processo de remoção desses dutos, diversos desafios técnicos e operacionais poderão ser encontrados, necessitando um planejamento detalhado das condições em que esses dutos se encontram no fundo do mar.

Devido a todos os aspectos associados a este processo, existem legislações nacionais e internacionais que indicam melhores procedimentos e práticas a serem adotados pelas empresas quanto à desmobilização, embora a avaliação seja elaborada caso a caso obedecendo todas as características específicas do projeto (ou equipamento) e da região.

Assim sendo, para avaliar o desempenho associado a cada alternativa de descomissionamento será utilizada uma ferramenta para auxiliar no processo de tomada de decisão, conhecida como MCDA (*Multi-criteria Decision Analysis*). MCDA é

aplicada em diversas áreas como suporte ao resultado de um processo decisório, e sua utilização vem ganhando cada vez mais relevância por permitir uma transparência dos valores manipulados.

Para este estudo de caso foi utilizado o método PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*), que consiste em uma ferramenta para tratamento de problemas que envolvem múltiplos critérios, em conjunto com método revisado de SIMOS, para atribuição dos pesos. Assim como no Mar do Norte, neste trabalho foram utilizados os cinco grandes critérios: saúde e segurança das pessoas, ambiental, social, técnico e econômico.

Este estudo irá analisar as normas aplicáveis no Brasil ao descomissionamento de dutos rígidos offshore no término da fase de produção obedecendo às questões ligadas a responsabilidade ambiental durante estas operações e propondo um modelo para o processo de descomissionamento como ferramenta para elaboração de um plano estratégico.

1.2 OBJETIVO

O objetivo principal do trabalho é fornecer uma metodologia MCDA de análise disponível para serem utilizados no descomissionamento de dutos rígidos, considerando os critérios e particularidades envolvidas durante todo o processo para determinar a alternativa mais factível. Dessa forma, a análise multicritério permite ao decisor uma visão holística, ou seja, analisar as alternativas de forma completa e não fragmentada dos critérios/subcritérios com relação as opções de descomissionamento.

Durante o desenvolvimento serão descritos as alternativas e subcritérios adotados. As soluções serão efeitos do método de remoção associadas às particularidades do duto e do campo em estudo, incluindo integridade estrutural, lâmina d'água, disponibilidade de recursos etc.

O objetivo específico é a integração de uma metodologia multicritério e a modelagem de variáveis para simulação Monte Carlo, permitindo considerar incertezas nos valores adotados para as simulações. Todas as análises terão variação de pesos, indicando a relação da variação dos pesos definidos com as soluções encontradas.

Além disso, algumas análises podem ser destacadas, como: análise de sensibilidade de desempenho entre alternativa e critério, comparar alternativas e seus potenciais impactos, análise os temas de impacto por critério.

O desenvolvimento desta metodologia será aplicado no estudo de caso do descomissionamento de um duto rígido de uma plataforma fixa, campo de Cação, e posteriormente poderá ser replicada em diversos estudos futuros.

1.3 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

Um dos maiores desafios que podem ser encontrados quanto a desmobilização dos dutos é a ausência de informação suficiente para que o processo ocorra, e por mais que não seja uma atividade comum no Brasil é uma prática frequente nos países com projetos que atingiram a maturidade de produção.

Estima-se que em torno de 6.500 plataformas no mundo serão descomissionadas até o ano de 2025, a um custo aproximado de 40 bilhões de dólares, o que justifica um aumento intenso na atividade de descomissionamento nos próximos anos (RUIVO, 2001). Levando em consideração a expansão dessas atividades, tornam-se necessários estudos para auxiliar no método de tomada de decisão.

O contexto *offshore* no Brasil é desafiador, pois emprega sistemas submarinos robustos quando comparados com o cenário de exploração no mundo. Além disso, por se tratar de uma atividade multidisciplinar, a perspectiva futura de oportunidade profissional com diferentes formações exigirá um conhecimento das áreas envolvidas.

Está prática, possui elevado potencial de geração de impactos ambientais e socioeconômicos e riscos operacionais, sendo eles condicionados a(s) alternativa(s) selecionada. Assim, torna-se essencial uma modelagem de uma ferramenta de análise multicritério para tomada de decisão. Existem múltiplas questões a serem estudadas e o desenvolvimento de metodologias e ferramentas busca aumentar o grau de confiabilidade das operações, evitando possíveis falhas durante um projeto.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Com a finalidade de atender aos objetivos propostos, este trabalho foi dividido em seis capítulos conforme descritos a seguir. A introdução é apresentada neste primeiro capítulo, englobando a contextualização, os objetivos deste trabalho e a relevância deste estudo.

O capítulo 2 apresenta o referencial teórico buscado na literatura sobre o processo de descomissionamento de dutos rígidos e as principais regulamentações vigentes.

O capítulo 3 apresenta os principais aspectos relacionados aos dutos rígidos e suas respectivas alternativas de remoção ou abandono.

O capítulo 4 é um descritivo da metodologia abordada, descrevendo o cenário do estudo de caso a ser estudado, a lista de critérios e subcritérios adotados. Também foi descrito todo procedimento de cálculo referente aos dados de entrada para a ferramenta.

Ainda no capítulo 4, será introduzida o conceito de método multicritério de apoio à decisão e o método utilizado PROMETHEE. E por fim, todas as análises de sensibilidade envolvidos na simulação, como a distribuição triangular (Monte Carlo) e a variabilidade dos pesos.

O capítulo 5 apresenta os resultados obtidos deste estudo. E por fim, o capítulo 6 apresenta as conclusões obtidas com base nas simulações e na análise de sensibilidade.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O DESCOMISSIONAMENTO

As operações de descomissionamento são de natureza relativamente inovadora, principalmente nos campos brasileiros, pois só agora a indústria nacional está começando a lidar com o término da fase produtiva de alguns campos e/ou fim da vida útil de suas plataformas nos campos exploratórios e produtivos de petróleo e gás, e isso com a dificuldade aumentada devido à profundidade da região onde estão instalados os sistemas (SANTOS, 2011).

O momento do término das atividades de extração de petróleo é inerente à indústria *offshore*, isso ocorre devido a três fatores importantes: condições técnicas na qual o processo seja inviável, falta do recurso (óleo) disponível e quando o retorno esperado passa a ser inferior ao gasto aplicado.

Portanto, o abandono do campo constitui da desativação das instalações *offshore* tratando da retirada definitiva e remoção das instalações de produção, buscando um destino adequado e atendendo as questões ambientais das áreas na qual as instalações se encontram.

Além do setor petrolífero, o descomissionamento já é uma atividade praticada em diversos setores. No setor nuclear, (SUH; HORNIBROOK; YIM, 2018) aborda diferentes parâmetros que influenciam na tomada de decisão, destacando a complexidade em avaliar diferentes estratégias. Ressaltando também, (SEO; SOHN, 2019) que para liberação um local após o descomissionamento é necessário demonstrar conformidade com requisitos radiológico.

Além disso, é um tópico interessante e que ganhou importância do setor de energia eólico e solar (SMYTH et al., 2015), apesar do crescente número de projetos que atingem essa fase, ainda é uma área que com pouca experiência e que recebeu relativamente baixa importância (TOPHAM et al., 2019). Comparado ao descomissionamento da indústria de óleo e gás é menos complexo, com menos materiais tóxicos para lidar (IRAWAN; WALL; JONES, 2019).

Nota-se também que o descomissionamento não é um problema restrito aos setores energéticos, também é relevante em outros setores econômicos. Por exemplo, no setor de transporte na busca de uma destinação correta para os veículos (SMYTH et al., 2015) e submarinos (ISM, 2011).

O programa de desativação é geralmente uma longa e complicada cadeia de atividades que envolve várias partes interessadas e muitas considerações em relação às questões ambientais, de saúde e segurança, sociais, econômicas e técnicas (AHIAGA-DAGBUI et al., 2017).

Entretanto, o extenso uso das abordagens MCDA indica a necessidade de otimizar o problema de decisão, ponderando os possíveis benefícios e prejuízos, porém a escolhas dos critérios e subcritérios de avaliação e as alternativas inerentes ao processo podem refletir melhores resultados (SOMMER et al., 2019).

O término da atividade petrolífera está previsto no § 2º, art. 28, da Lei no 9.478/97, que estabelece:

“Em qualquer caso de extinção da concessão, o concessionário fará, por sua conta exclusiva, a remoção dos equipamentos e bens que não sejam objeto de reversão, ficando obrigado a reparar ou indenizar os danos decorrentes de suas atividades e praticar os atos de recuperação ambiental determinados pelos órgãos competentes.”

Depois de aproximadamente 50 anos desde o início da primeira exploração *offshore* no Brasil (Guaricema - 1968) (BENEDITO et al., 2007), o mercado atinge uma nova etapa de maturidade. Após os campos e plataformas atingirem idades mais avançadas é natural que se estude a viabilidade técnico-econômica para se continuar explorando, caso contrário o descomissionamento será a opção mais viável.

Segundo dados da Marinha do Brasil, em janeiro 2017 o Brasil havia 67 plataformas fixas (41,1%) em operação. Dados mais recentes, apontam que em janeiro 2019 existiam apenas 20 plataformas fixas (16,3%) em operação. Isso mostra que, nos últimos dois anos teve uma diminuição do número de plataformas fixas operando, mostrando uma tendência no aumento das unidades fixas a serem descomissionadas (Tabela 1).

Tabela 1: Plataformas no Brasil em janeiro 2017 e janeiro 2019. Fonte: Marinha do Brasil

	JANEIRO 2017	JANEIRO 2019
Fixa	67	20
FPSO	42	52
Semi-submersível	36	34
Navio-sonda	15	10
Autoelevável	2	5
FSO	1	2
	163	123

O descomissionamento já é uma atividade prevista nos planos das operadoras, o que se planeja em muitos projetos é a necessidade de mecanismos afim de aumentar o fator de recuperação do reservatório. A indústria de óleo e gás traz enorme vantagens para a sociedade, mas em contra partida pode causar sérios danos ao meio ambiente (SOMMER et al., 2019).

Segundo a ANP, (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Combustíveis), mais da metade das plataformas fixas superou a idade na faixa de 25 anos em operação e, indicando uma tendência de crescimento do mercado de descomissionamento nos próximos anos.

Atualmente, alguns campos já possuem seus Programas de Desativação de Instalações Offshore aprovados ou em análise pela Superintendência de Segurança Operacional e Meio-Ambiente (SSM), o que indica a tendência na crescente demanda para os próximos anos (Tabela 2).

Tabela 2: Programas de Desativação de Instalações Offshore analisados/em análise pela SSM. FONTE: ANP

Unidade de Produção	Tipo	Campo	Bacia	Situação
FPSO Brasil	FPSO	Roncador	Campos	Aprovado
FPSO Marlim Sul	FPSO	Marlim Sul	Campos	Aprovado

PCA-01	Plataforma Fixa	Cação	Espírito Santo	Aprovado
PCA-02	Plataforma Fixa			Aprovado
PCA-03	Plataforma Fixa			Aprovado
P-07	Plataforma Semissubmersível	Bicudo	Campos	Em Análise
P-12	Plataforma Semissubmersível	Linguado	Campos	Em Análise
P-15	Plataforma Semissubmersível	Piraúna	Campos	Em Análise
P-33	FPSO	Marlim	Campos	Em Análise
FPSO Cidade do Rio de Janeiro	FPSO	Espadarte	Campos	Em Análise
FPSO Piranema Spirit	FPSO	Piranema	Sergipe	Em Análise

As unidades P-07, P-12 e P-15 possuem aproximadamente 500 Km de dutos (rígidos e flexíveis) instalados no leito marinho, o que retrata um número significativo de material a ser desinstalado, removido e disposto *onshore* em caso de não reaproveitamento (MOURA, 2019).

A regulamentação do descomissionamento possui grande relevância, pois, além de envolver as questões técnicas, ambientais e sociais, é uma fase da operação com altos custos e riscos operacionais (ALMEIDA et al., 2017).

O processo de descomissionamento pode ser dividido em três fases práticas (HAMZAH, 2003):

- A primeira fase consiste em tornar a estrutura livre de hidrocarbonetos, realizar o abandono os poços, a remoção de condutores e *risers*, a lavagem e limpeza dos sistemas de processamento, assegurando todos que os vasos e tubulações estejam

livres de gás e óleo, e preparar os componentes para as operações de elevação, quando submersos, e remoção;

- A segunda fase envolve a desmontagem e remoção da instalação e dos componentes associados;
- Uma terceira fase envolve a restauração e monitoramento do local.

Um sistema marítimo de produção é formado pela integração de diversos equipamentos (Figura 1) capazes de ligar desde os poços até as unidades estacionárias de produção.

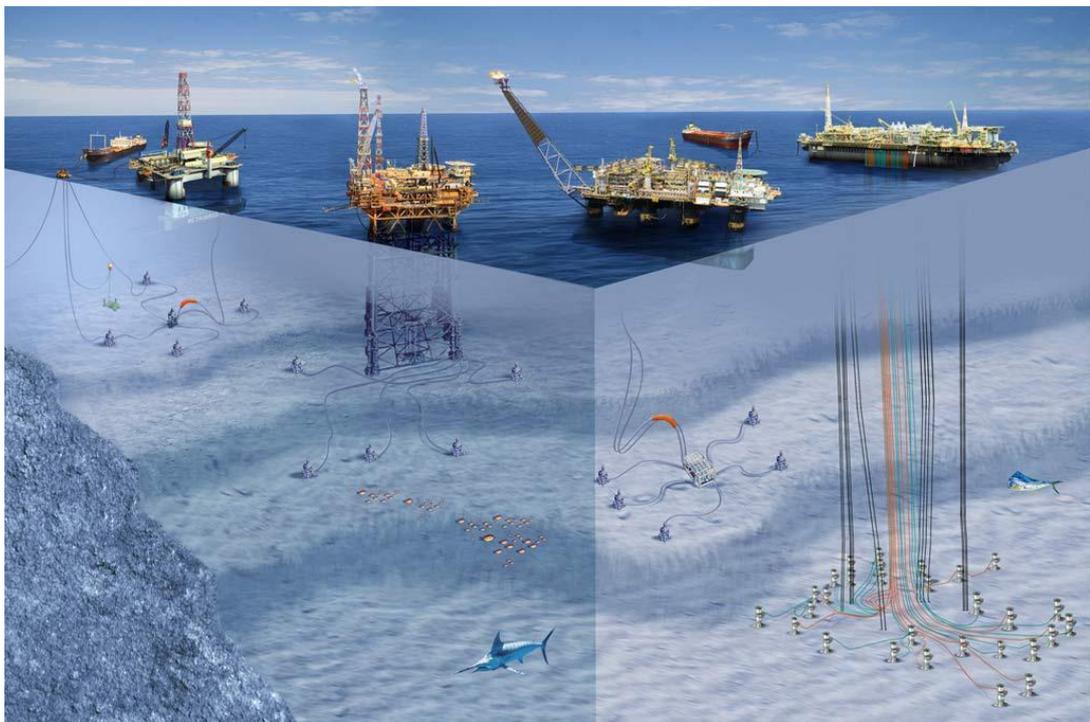


Figura 1: Ilustração representativa de um sistema marítimo de produção. FONTE:

<https://i0.wp.com/static.hsw.com.br/gif/exploracao-petroleo-mar-1.jpg>

Os estudos de desmobilização dos sistemas de produção marítimos de petróleo e gás natural podem ser classificados nos seguintes grupos (RUIVO, 2001):

- *Topsides*;
- Plataformas fixas;
- Plataformas flutuantes, ancoradas ou atirantadas;
- Estrutura *subsea* – equipamentos pontuais;
- Poços;
- Dutos – rígidos ou flexíveis.

No âmbito deste trabalho será abordado apenas o descomissionamento de dutos (rígido), sendo ele relacionado a um estudo de caso de uma plataforma fixa do tipo jaqueta.

2.1.1 Sistema submarino

Os sistemas submarinos são um conjunto de equipamento e instalações sobre o leito marinho capazes de permitir e garantir todas as funções durante a fase produtiva de um campo. De forma resumida, os equipamentos submarinos podem ser classificados em equipamentos pontuais (PLET, PLEM, *Manifold*, equipamento de bombeio, Árvore de Natal Molhada) e dutos (rígidos e flexíveis), sendo suas principais funções:

- PLET (*Pipeline End Termination*) - Responsável em fazer a conexão entre um duto rígido e flexível ou entre um duto a outro equipamento submarino.
- PLEM (*Pipeline End Manifold*) - Permite a interligação com outros trechos de duto, sendo instalados na extremidade de um trecho de duto.
- *Manifold* - Conjunto de válvulas capazes direcionar a produção ou injeção para uma unidade de produção. Sua principal função é minimizar o número de linhas utilizadas em um sistema de produção.
- Equipamentos de bombeio - Equipamento responsável pela garantia de escoamento do fluido por meio de uma elevação artificial.
- Árvore de Natal Molhada (ANM) - Conjunto de válvulas responsáveis em controlar o fluxo de fluídos produzidos ou injetados provenientes dos poços.
- Dutos rígidos e flexíveis - São dutos que possibilitam a transferência de fluidos de produção entre plataformas ou unidades de processamento e distribuição em terra.

Dependendo do tipo de instalação utilizada à configuração do sistema submarino pode variar muito, desde a quantidade de poços até a composição e dimensão dos equipamentos a serem utilizados. Atualmente, já existe mecanismo de remoção destes elementos para lâminas d'águas rasas e medianas, porém como a tendência em se explorar em profundidade é cada vez mais elevadas, ainda são escassos a experiência e conhecimento técnico acerca das melhores práticas a serem realizadas.

A complexidade no descomissionamento dos equipamentos pontuais se limita a composição de parte removíveis, ou seja, módulos presentes na estrutura. Dependendo da situação na qual essas partes se encontram nos equipamentos, no momento do descomissionamento poderá optar-se na remoção completa ou parcial dos módulos ou abandono total quando não existir integridade e garantia para o içamento.

Na Figura 2 é possível observar o detalhamento das possibilidades quanto ao descomissionamento dos equipamentos pontuais:

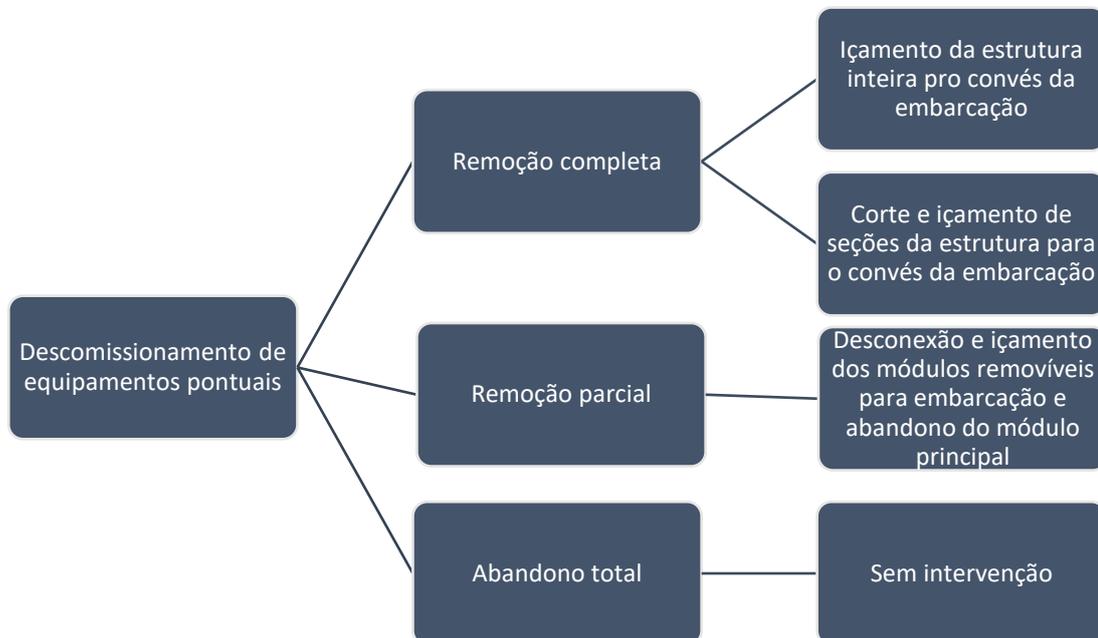


Figura 2: Alternativas existentes para descomissionamento dos equipamentos pontuais. Fonte: Autor

Os dutos flexíveis são caracterizados por constituírem diversas camadas, sendo cada uma delas responsável por uma função. Foram desenvolvidos em função de suas características de resistências, visando acompanhar a crescente demanda em se explorar em lâmina d'água cada vez maiores e sendo capazes de suporta condições severas durante a operação (SALGADO; AZEVEDO, 2016).

Quando comparados com dutos rígidos, possuem maiores custos e tempo durante o processo de fabricação, em contra partida são mais fáceis de manusear no processo de instalação (SALGADO; AZEVEDO, 2016). Os dutos flexíveis podem ter três diferentes aplicações: *risers*, *flowlines* ou *jumpers* (FERGESTAD; LØTVEIT, 2014).

- *Risers*: trecho suspenso para transportar o fluido da estrutura submarina até a unidade de produção.
- *Flowlines*: dutos utilizados para o transporte de fluidos em longas distâncias, assentados no leito marinho.
- *Jumpers*: estrutura responsável por interligar dois componentes, cuja principal função é de ser um conector de fluidos.

Na Figura 3 é possível observar o detalhamento das possibilidades quanto ao descomissionamento de dutos flexíveis:

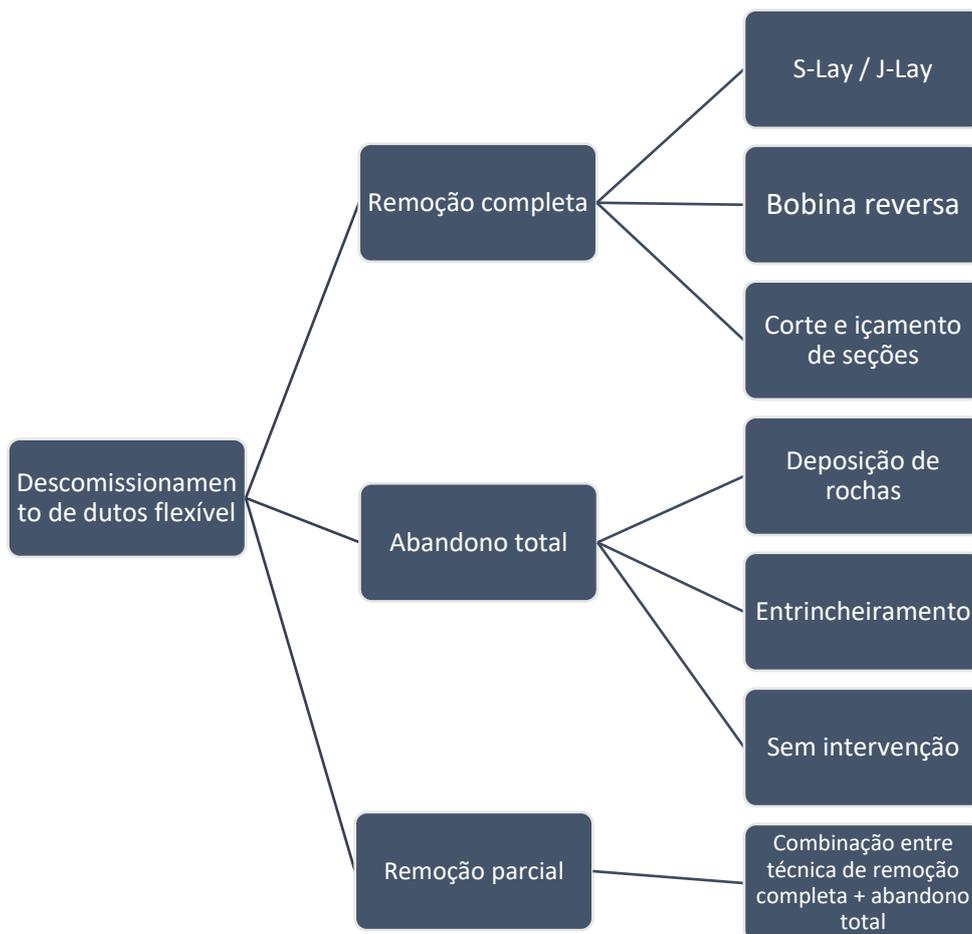


Figura 3: Alternativas existentes para descomissionamento de dutos flexíveis. Fonte: Autor

De forma resumida, para as operações são necessários diversos tipos de dutos, sendo que cada um deles possui seu aspecto particular de utilização (Tabela 3). As características e técnicas relacionada ao descomissionamento dos dutos rígidos são descritos em um capítulo à parte, como sendo o foco deste estudo.

Tabela 3: Tipos de dutos e suas características. FONTE: PRADO, 2015

Tipo de duto	Dimensões típicas	Aplicações	Materiais utilizados na construção	Camadas adicionais de proteção
Grandes dutos de exportação (rígidos)	Até 44 pol. De diâmetro com extensão de até 840km	Infraestrutura de base para exportação de óleo e gás	Aço carbono	Camadas anti-corrosão e camadas de concreto
Rígidos	Até 16 pol. de diâmetro, extensão de até 50km	Coleta, gas lift, injeção e interligações curtas	Aço carbono ou ligas de alta especificação	Camadas poliméricas anti-corrosão
Flexíveis	Até 16 pol. de diâmetro, extensão de até 10km	Coleta, gas lift, injeção e interligações curtas	Casca de ligas de alta especificação e camadas poliméricas, com terminações em ligas metálicas.	Camada polimérica
Umbilicais eletro-hidráulicos	Entre 2 e 8 pol. de diâmetro, extensões de até 50 km	Químicos, hidráulico ou distribuição de energia elétrica.	Polímeros ou ligas de alta especificação	Camada polimérica

Os dutos podem ser classificados conforme seu posicionamento, se dividindo em três segmentos na indústria *offshore*:

- *Flowline*: linha de fluxo responsável em levar a produção da cabeça do poço até as linhas de exportação, *manifold* de coleta/injeção ou até unidade processamento primário.
- *Risers*: duto vertical que interliga o sistema de equipamento submarino a unidade de produção, podem ser utilizados durante a intervenção nos poços durante a etapa de produção e perfuração.

- *Pipeline*: linhas de diâmetros maiores utilizados para a exportação da produção até a costa.

A solução ideal seria que o ambiente marinho retornasse para sua condição inicial, ou seja, que todas as instalações fossem completamente removidas para serem reutilizadas ou recicladas. Em contra partida, deverão ser analisados impactos positivos e negativos (ruídos, disseminação de espécies, recifes etc.) de anos em que essas instalações permaneceram instaladas no local.

Vale ressaltar, que o descomissionamento é a última alternativa para um sistema de produção, a prioridade é maximizar o fator de recuperação e tornar o campo economicamente viável (ANP, 2017). O maior desafio encontrado atualmente é definir uma metodologia de análises comparativas de alternativas, considerando múltiplos critérios, e através disso analisar caso a caso a solução que melhor equilibra proteção ambiental, risco operacional e viabilidade técnico e econômico.

2.2 MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO (MCDA)

Análise por decisão multicritério (MCDA) proporciona ao decisor ferramentas capazes de resolver problemas levando em consideração diversas opiniões, em muitos casos contraditória (VINCKE, 1992). É um instrumento baseada em modelos formalizados, permitindo que o analista encontre respostas às questões colocadas por decisores ao longo de um processo, recomendando uma solução mais coerente com o objetivo do decisor (ROY, 1996).

Vale ressaltar que os métodos multicritério não buscam uma solução que seja verdadeiramente única, e sim dar um suporte ao processo decisório. Portanto, a qualidade da informação é tão importante quanto o tratamento analítico aplicado (GOMES, L. F. A. M., GOMES, C. F. S., ALMEIDA, 2002).

Muitos métodos existentes traduzem a importância referente entre os critérios de forma numérica, através dos pesos. Dessa forma, recomenda-se uma atenção especial quando se utiliza a mesma avaliação em diferentes métodos para comparação de resultados (VINCKE, 1992).

Os métodos existentes de MCDA podem ser classificados em três abordagens diferentes (ALMEIDA, 2000a; GRECO; FIGUEIRA; EHRGOTT, 2005):

1. Métodos de síntese de critério único, baseados em modelo aditivo. Esse método permite uma compensação entre os critérios, ou seja, a vantagem em um é equilibrada pela desvantagem em outro. Além disso, é possível agrupar a fim de determinar uma pontuação única para cada alternativa.
2. Métodos de superação, ou seja, classificados como não compensatórios.
3. Métodos interativos, sendo suficientes para associar a problemas discretos e contínuos.

A construção do modelo e o método de escolha estão ligados ao processo de tomada de decisão. As abordagens tradicionais incluem o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) (SAATY, 1980), *Preference Ranking Organization Method* (PROMETHEE) (BRANS; VINCKE, 1985), *Simple Additive Weighting* (SAW) (FISHBURN, 1967), *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) (HWANG; YOON, 1981), *Elimination and Choice Expressing the Reality* (ELECTRE) (BENAYOUN; ROY; SUSSMAN, 1966) e *Multi-Attribute Utility Theory* (MAUT) (EDWARDS et al., 1982).

A Figura 4 detalha o processo de tomada de decisão em problemas de descomissionamento. Tal processo começa com a seleção de um projeto e termina com a avaliação da estratégia da alternativa proposta.

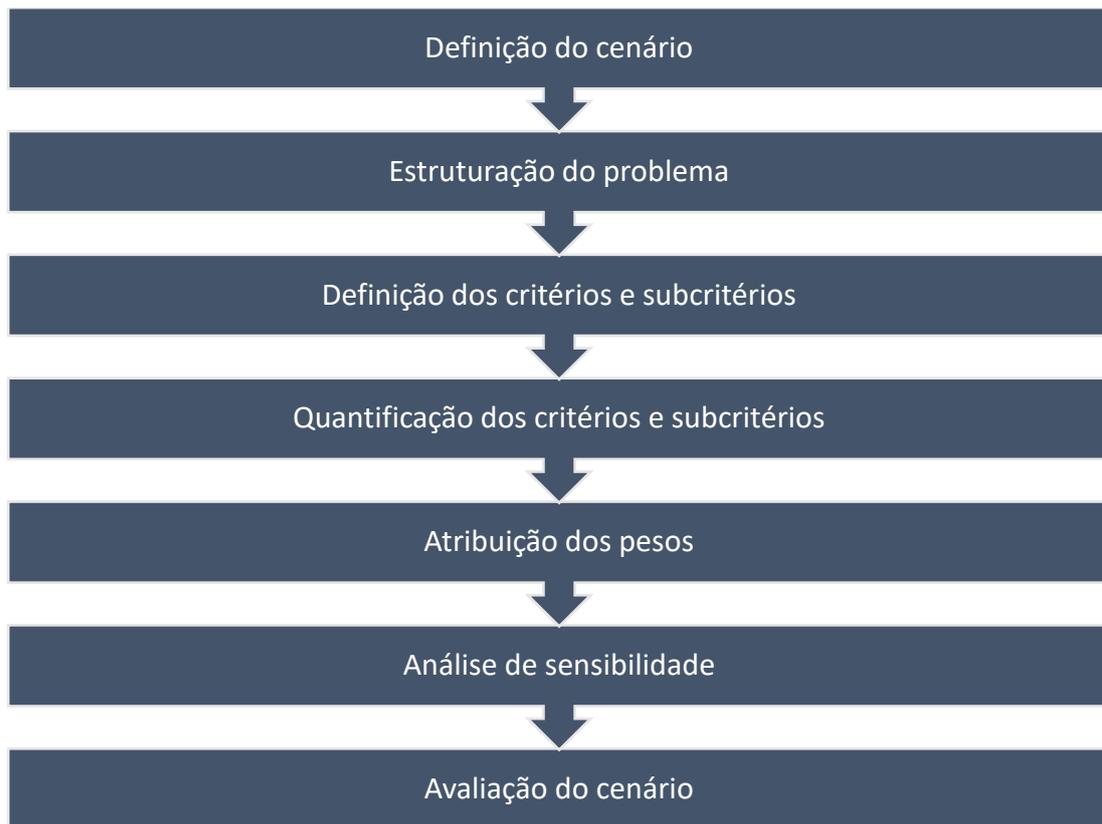


Figura 4: Conceito básico de uma análise multicritério. Fonte: Autor

As ferramentas de auxílio à decisão multicritério foram desenvolvidas para ajudar os decisores a lidar com problemas complexos, como as necessárias para o descomissionamento. Entretanto, o tipo de MCDA a ser utilizado geralmente não é explícito e, até o momento não existem estudos na literatura que investiguem a aplicação geral do MCDA ao descomissionamento.

O tipo de técnica a ser utilizada deve ser escolhida de forma a se adequar ao problema de decisão em questão. A maioria dos métodos segue uma lógica comum: definição dos objetivos, seleção de critérios, alternativas a serem estudadas, desempenho da opção por critério, definição de pesos e avaliação (FOWLER et al., 2014).

2.2.1 PROMETHEE

PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) (BRANS, 1982) é um método baseado na construção das relações de sobreclassificação – representando as preferências definidas pelo decisor, e sua posterior exploração, de forma a auxiliar na solução do problema.

O método PROMETHEE é semelhante ao ELECTRE, pois também possui várias iterações e surgiu com objetivo de tornar um método mais simples considerando que o ELECTRE exige muitos parâmetros que às vezes não é relevante para o decisor.

O PROMETHEE possui as seguintes ramificações:

- PROMETHEE I – classificação parcial das alternativas quando se tem problemas com escolha e ordenação.
- PROMETHEE II – classificação completa das alternativas quando se tem problemas com escolha e ordenação.
- PROMETHEE III – ranking baseado no intervalo de desempenho das alternativas, ampliação da noção de indiferença.
- PROMETHEE IV – ranking completo ou parcial de alternativas quando o conjunto de soluções viáveis é contínuo.
- PROMETHEE V – utilizado para problemas com segmentações e restrições, podendo ser aplicado em situações na qual o decisor não consegue estabelecer valor fixo de peso para cada critério.
- PROMETHEE VI – extensão dos resultados do PROMETHEE, permite a representação gráfica das decisões complexas do decisor.

Para cada critério deverá ser especificada uma função de preferência, com intuito de representar a preferência do decisor frente as diferenças relacionadas a avaliação do critério. Além das funções de preferência, o decisor deve estabelecer para cada critério um peso (p_i), que está relacionado com o grau de importância. Na tabela abaixo são representadas as $n \times k$ avaliações:

Tabela 4: Avaliação de n alternativas para k critério

	Critério			
	Subcritério 1	Subcritério 2	...	Subcritério n
	Peso	Peso	...	Peso
Alternativa 1	Nota = f (indicador)	Nota = f (indicador)	...	Nota = f (indicador)
Alternativa 2	Nota = f (indicador)	Nota = f (indicador)	...	Nota = f (indicador)

...	
Alternativa n	Nota = f (indicador)	Nota = f (indicador)	...	Nota = f (indicador)

Uma vez estabelecidos os pesos é possível obter para cada par de alternativas (a,b) o grau de sobreclassificação (π), que será calculado da seguinte forma (ALMEIDA, 2000b):

$$\pi(a, b) = \sum_{i=1}^n p_i F_i(a, b)$$

Onde:

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1$$

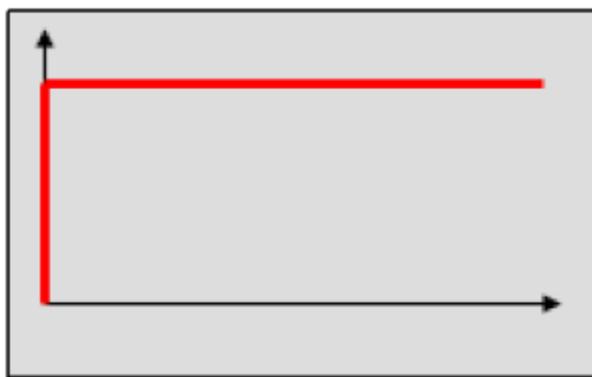
Os coeficientes p_i são denominados pesos, os quais são relativos à importância de cada critério e $F_i(a, b)$ é a função de preferência associada a esse critério.

Posteriormente, as alternativas serão ordenadas da seguinte forma:

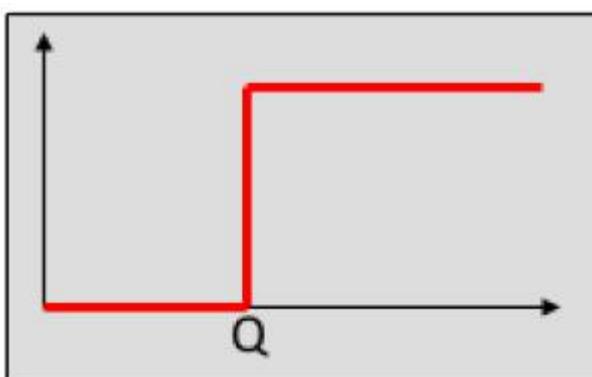
- Ordem decrescente de $\Phi^+(a)$ (fluxo de saída): $\Phi^+(a) = \sum \pi(a, b)$ representa a preferência de a sobre todas as alternativas de b, ou seja, quanto maior o seu valor, mais preferível será a alternativa.
- Ordem crescente de $\Phi^-(a)$ (fluxo de entrada): $\Phi^-(a) = \sum \pi(b, a)$ representa a intensidade de preferência de todas alternativas b no conjunto a, ou seja, quanto menor o seu valor, mais preferível será a alternativa.

O PROMETHEE possui seis funções de preferência, sendo capazes de fornecer aos tomadores de decisão um número suficiente de opções para acomodar as situações mais típicas, são elas (MARESCHAL, 2018):

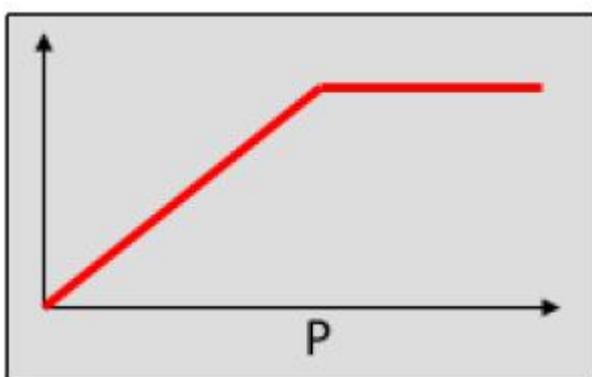
- TIPO I (Função de preferência usual) – considerada como a mais simples e básica, pois não possui limites e retorna um resultado binário, 0 ou 1.



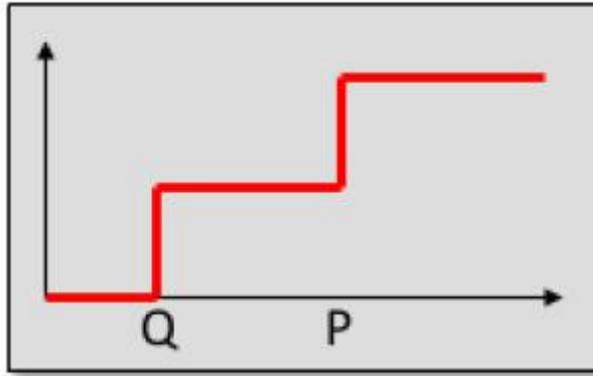
- TIPO II (Função de preferência U-shape) – Introduz a noção de limiares de indiferença (Q), porém só retorna um resultado binário, 0 ou 1.



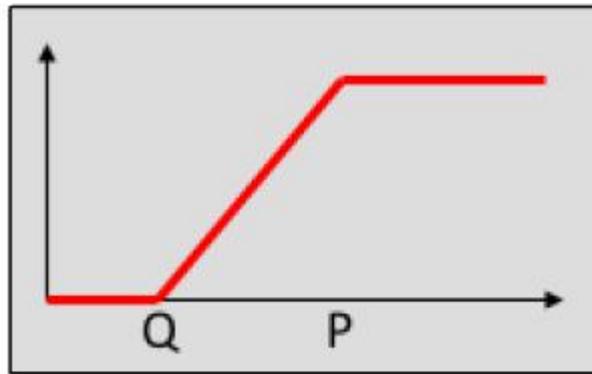
- TIPO III (Função de preferência V-shape) – Introduz a noção de limiares de preferência (P) e de grau de preferência variável.



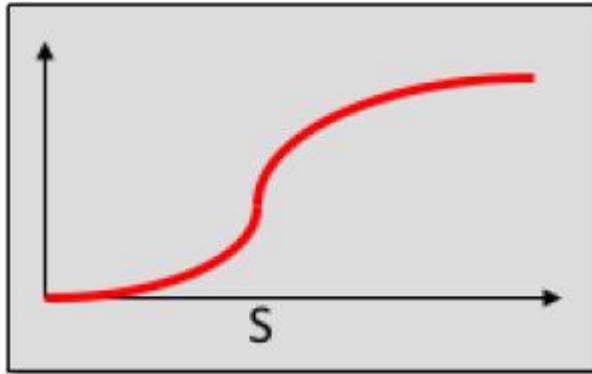
- TIPO IV (Função de preferência Level) – Define-se os dois limiares: preferência (P) e indiferença (Q).



- TIPO V (Função de preferência Linear) – Inclui os dois limiares: preferência (P) e indiferença (Q). A diferença principal entre a função de preferência do tipo Level é que o grau de preferência aumenta linearmente entre os limiares Q e P.



- TIPO VI (Função de preferência Gaussiana) – foi projetada como uma alternativa à função de preferência Linear (tipo V). Não tem nenhum limite de indiferença ou preferência. Sua forma é determinada por outro parâmetro: o limiar Gaussiano S, que define a posição do ponto de inflexão da curva de função de preferência. Praticamente, o valor do limiar S deve estar entre os valores dos limiares Q e P.



Nas funções de preferência descritas acima, os parâmetros p e q corresponde:

- Q_j (limiar de indiferença) – maior valor para $d_j(a,b)$, abaixo do qual existe uma indiferença na preferência entre a e b .
- P_j (limiar de preferência) – menor valor para $d_j(a,b)$, acima do qual existe uma preferência estrita pôr a em relação a b .

As funções são escolhidas com base no perfil de cada subcritério estudado e os valores de p e q (quando necessários) deverão ser calculados e utilizados como um dado de entrada no *software*.

2.3 FATORES DECISIVOS PARA SE DESCOMISSIONAR

Durante o planejamento e construção metodológica, o fator motivacional que resultou no descomissionamento é um aspecto importante a ser considerado para construção dos dados e análises, pois será possível incorporar informações importante a serem integradas. Esta lista deve abranger e refletir todas os possíveis elementos que podem influenciar no processo decisório.

Segundo (LUCZYNSKI, 2002), este processo pode ocorrer em função de diversos fatores:

- Esgotabilidade da reserva, incluindo erros associados ao dimensionamento de volume;
- Risco operacional – estrutura fora dos padrões técnicos estabelecidos;

- Produção antieconômica – sistema produtivo do campo não compensa os gastos obtidos do projeto;
- Mudança na diretriz energética – incentivos de políticas governamentais como pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias;
- Rigidez das políticas ambientais – surgimento de leis que visam proteger o meio ambiente;
- Mudança ou transformação técnica para continuidade da produção tornam-se antieconômica – altos gastos com manutenção e reparo.

As decisões do processo de descomissionamento envolvem uma ampla gama de considerações, sendo: potenciais impactos ambientais e socioeconômicos e principalmente preocupações voltadas para saúde e segurança dos participantes.

Embora existam fatores que levam ao descomissionamento, no caso da plataforma de Cação a solução em se descomissionar já foi tomada (o estudo de caso será detalhado no capítulo da metodologia). O trabalho apenas foca na melhor solução de descomissionamento e não na decisão de quando se descomissionar.

2.4 REGULAMENTAÇÕES INTERNACIONAIS

Com o aumento da necessidade de se descomissionar foram surgindo algumas normas internacionais que tratam do segmento *offshore* internacional. A seguir, serão listados os principais dispositivos que mencionam a remoção dos equipamentos submarinos e a garantia da navegação.

2.4.1 Convenção de Genebra de 1958 (*The continental shelf convention and the high seas continental*)

A convenção de Genebra trata de um conjunto de tratados que deram início no que se refere ao processo de descomissionamento no mundo, sendo os mais importantes a convenção sobre o alto mar e sobre a plataforma continental.

Na convenção a que se refere sobre o alto mar foram definidas normas voltadas para o processo de instalação dos dutos e cabos submarinos por parte de cada estado signatário.

É de responsabilidade do Estado analisar as estruturas já existentes, se comprometendo em recuperar em caso de danos futuros.

O 5º item do Artigo 5 apresenta a diretriz mais importante tratada nesta Conferência para este estudo:

“Toda instalação abandonada ou em desuso deve ser completamente removida” (UN, 1964).

Mesmo sendo um marco inicial quanto às orientações voltadas para o processo de descomissionamento, esta conferência possui um marco significativo, uma vez que diversas diretrizes recentes tiveram como ponto de partida a Conferência de Genebra de 1958.

2.4.2 Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (*United Nations Convention on the Law of the Sea* – UNCLOS, 1982)

As convenções surgiram como direcionamento de boas práticas para serem adotadas pelos países, sendo um importante instrumento para empresas operadoras que ainda não possuem legislação específica sobre o descomissionamento, como é o caso atualmente do Brasil. Foi reconhecida por 127 países e entrou em vigor em novembro de 1994.

A UNCLOS 1982 dispõe de um documento único sobre definições e diretrizes do Mar Territorial, Zona Econômica Exclusiva, Plataforma Continental e Alto Mar, tratados em documentos distintos na Conferência de Genebra (1958) (PRADO, 2015).

O artigo 60(3) da UNCLOS 1982 estabelece:

“Qualquer instalação ou estrutura que são abandonados ou em desuso devem ser removidos para garantir a segurança da navegação, levando em consideração as normas internacionais geralmente aceitas estabelecidas a esse respeito pela organização internacional competente. Essa remoção deve também ter em conta a pesca, a proteção do meio marinho e os direitos e deveres de outros Estados. Será dada publicidade adequada à profundidade, posição e dimensões de quaisquer instalações ou estruturas não totalmente removidas”. (tradução livre)

Portanto, existe um novo debate imposto pela área jurídica internacional da IMO (International Maritime Organization) que defende a possibilidade de as instalações serem deixadas no local ou parcialmente removidas, confrontando com os argumentos apresentados anteriormente pelo Reino Unido.

Similar a Convenção de Genebra, o artigo 60 aborda sobre os dutos e cabos submarinos, definindo a autonomia do Estado quanto à instalação e futuros danos e levando em consideração aos cabos e dutos já existentes. O Estado se torna responsável quanto aos procedimentos capazes de reduzir e controlar os índices de poluição causados pelos oleodutos.

2.4.3 Diretrizes da IMO (1989)

A *International Maritime Organization* - IMO é encarregada pela segurança marítima, a navegação, a prevenção e o controle da poluição marinha. Os Estados membros são responsáveis pela implementação e aplicação deste arcabouço em nível nacional (IMO, 2014).

Uma das cláusulas principais a respeito da remoção é:

“Instalações ou estruturas abandonadas ou desativadas em qualquer plataforma continental ou em qualquer zona econômica exclusiva devem ser removidas, exceto quando não remoção ou remoção parcial é consistente com as seguintes diretrizes e padrões”. (tradução livre)

As diretrizes estipulam padrões a serem adotados quando o processo de decisão se refere a remoção de uma instalação ou estrutura *offshore*, ou seja, não estão vinculadas as legislações dos Estados membros. Além do mais, reforça a destinação final de retirada das instalações estabelecidas pelas UNCLOS.

Quanto a decisão de permanência das estruturas no leito marinho, a decisão deve basear-se, em particular, numa avaliação caso a caso pelo Estado, considerando (IMO, 1989):

1. Qualquer efeito potencial sobre a segurança da navegação e de outros usuários do mar;

2. A taxa de deterioração do material, seus efeitos presentes e futuros sobre o meio marinho;
3. Os efeitos em potencial sobre o meio marinho, incluindo os recursos vivos
4. O risco de o material mudar de localização em algum momento futuro;
5. Os custos, a viabilidade técnica, os riscos de dano à estrutura e de acidentes com os operadores envolvidos na atividade de remoção;
6. A determinação de um novo uso ou outra justificativa viável para que a instalação e sua estrutura permaneçam no fundo do mar.

Nesta resolução existem padrões a serem adotados tanto para instalações quanto para estruturas, sendo eles:

- Todas as instalações ou estruturas em desuso ou abandonadas em lâmina d'água inferior a 75 metros, pesando menos de 4.000 toneladas, excluindo convés e a planta, deverão ser removidas.
- Todas as instalações ou estruturas em desuso ou abandonadas localizadas em lâminas d'água inferiores a 100 metros, pesando menos de 4.000 toneladas, excluindo o convés e a planta, e que tiverem sido instaladas antes de 1998, deverão ser removidas.
- A remoção deve ser realizada de forma a não causar efeitos adversos significativos na navegação ou ambiente marinho. A forma como serão removidas não poderão causar efeito significativo, principalmente em espécies em extinção. Em caso de instalações remanescentes, suas dimensões e posicionamento deverão ser comunicados as autoridades competentes, de modo a garantir sua correta inclusão em mapas de navegação.
- O estado poderá permitir a remoção parcial ou total da estrutura, caso ela tiver um novo uso ou para melhoria de um recurso vivo. Em alguns casos, quando não for tecnicamente viável ou com elevados custos, o Estado pode determinar a não remoção.
- As estruturas que forem removidas parcialmente, devem ser estabelecidas uma coluna de água não obstruída suficiente para garantir a segurança da navegação, mas não menos de 55 m, acima de qualquer instalação ou estrutura parcialmente removida que não se projete acima da superfície do mar. As instalações que já não

servem como finalidade principal localizadas em rotas internacionais deverão ser completamente removidas, sem exceção.

- Em caso de não remoção completa, o Estado costeiro ficará responsável na monitoração do material restante.
- Toda estrutura instalada após 1º de janeiro de 1998 em Plataforma Continental ou Zonas Econômicas deverão apresentar possibilidade de completa remoção, sendo vedada a instalação de estruturas que não cumprirem com esse requisito.

2.4.4 OSPAR (*Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic*)

A Convenção para a Proteção do Meio Marinho do Atlântico Nordeste de 1992, tem por finalidade retratar a aceleração da degradação dos oceanos e das zonas costeiras no cenário internacional por meio da gestão e utilização do meio marinho e costeiro de forma sustentável.

Seus membros signatários são: Bélgica, Dinamarca, União Europeia, Finlândia, França, Alemanha, Islândia, Irlanda, Holanda, Noruega, Portugal, Espanha, Suécia, Suíça. (OSPAR, 2017).

No que diz a respeito da retirada de instalações offshore, consta no artigo 5(1) do anexo III que prevê:

“Nenhuma instalação offshore em desuso ou um gasoduto offshore em desuso deve ser despejada e nenhuma instalação offshore em desuso será deixada total ou parcialmente no local da área marítima sem autorização emitida pela autoridade competente da Parte Contratante em questão caso a caso”. (tradução livre)

Devido à grande repercussão do caso de Brent – projeto pioneiro no que se refere descomissionamento, os projetos passaram a ter uma maior importância. Desde 1998 a seção que tratava a disposição de instalações e estruturas submarinas foi revisada, sendo decretada a proibição da prática de *dumping* ou o abandono total/parcial das instalações *Offshore* em áreas marinhas, com exceção de casos em que a estrutura apresente alto risco para o meio ambiente e para a vida humana (OSPAR, 1998).

A OSPAR monitora o desenvolvimento de instalações offshore e mantém o inventário OSPAR *Oil and Gas Offshore*. O banco de dados inclui o nome e número de identificação, localização, operador, profundidade da água, início da produção, status atual, categoria e função das instalações.

2.5 O QUADRO NORMATIVO NO BRASIL

Atualmente o Brasil se encontra amparado por diversos órgãos governamentais federais, estaduais e municipais que estabelecem critérios para as atividades de produção e exploração offshore. Portanto, a atividade de descomissionamento de plataformas e sistemas submarinos é algo recente e a regulação ainda se encontra em fase de desenvolvimento.

Por ser uma fase “recente” os marcos regulatórios brasileiros se inspiram nas regulamentações e guias de boas práticas internacionais, adotando diretrizes quanto as melhores práticas a serem implementadas durante todo o processo.

O país possui três órgãos responsáveis em regular as atividades relacionadas a todo processo de descomissionamento: Marinha do Brasil, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), embora somente o IBAMA e ANP possuam poder de Polícia dentro da União.

De acordo com a Lei nº 9.478/97, a ANP tem como propósito providenciar a regulação, a contratação e a fiscalização das atividades econômicas da indústria petrolífera, cabendo-lhe “fazer cumprir as boas práticas de conservação e uso racional do petróleo, gás natural, seus derivados e biocombustíveis e de preservação do meio ambiente;” (MARTINS, 2015).

O IBAMA pertence ao Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) e possui a função de órgão fiscalizador ambiental e todo processo de licenciamento desse setor é realizado por ele.

Em 1981 foi criada a Lei nº 6.938 que trata da obrigação do processo de licenciamento ambiental das atividades do setor de óleo e gás, uma vez que envolve durante seu processo a utilização dos recursos naturais. Dentro desse licenciamento estão dispostos diversos

aspectos, como: dados sísmicos, exploração, perfuração, produção para pesquisas e produção de petróleo.

O IBAMA/CGPEG é o responsável por este licenciamento e tem solicitado como prática exigir o Projeto de Desativação como uma das restrições para o licenciamento ocorrer, mesmo não existindo qualquer tipo de legislação em vigor que imponha isso.

Dessa forma, apesar de ainda existirem alterações nas regulamentações, serão apresentadas as principais resoluções e leis que guiam o processo da cadeia produtiva do petróleo e preservação ambiental do país. São elas:

- Resolução CONAMA n° 23/94
- Resolução CONAMA n° 237/97
- Resolução ANP n° 25/02
- Resolução ANP n° 27/06
- Resolução ANP n° 25/2014
- Resolução ANP n° 41/2015

2.5.1 Resoluções CONAMA n° 23/94

A resolução CONAMA n° 23/94 descreve critérios específico a que se refere ao licenciamento ambiental para um controle e gestão de todas as atividades relacionadas à exploração e lavra de jazidas de combustíveis líquidos e gás natural, respeitando as legislações vigentes da região.

No Art. 5° é descrito as licenças necessárias para a execução dessas atividades, conforme ilustrado na (Tabela 5).

Tabela 5: Licenças listadas no Art. 5° da Resolução CONAMA 23/94.

I - LICENÇA PRÉVIA PARA PERFURAÇÃO - LPper, autorizando a atividade de perfuração e apresentando, o empreendedor, para a concessão deste ato, Relatório de Controle Ambiental - RCA, das atividades e a delimitação da área de atuação pretendida;

II - LICENÇA PRÉVIA DE PRODUÇÃO PARA PESQUISA - LPpro, autorizando a produção para pesquisa da viabilidade econômica da jazida, apresentando, o empreendedor, para a concessão deste ato, o Estudo de Viabilidade Ambiental - EVA;

III - LICENÇA DE INSTALAÇÃO - LI, autorizando, após a aprovação do EIA ou RAA e contemplando outros estudos ambientais existentes na área de interesse, a instalação das unidades e sistemas necessários à produção e ao escoamento;

IV - LICENÇA DE OPERAÇÃO - LO, autorizando, após a aprovação do Projeto de Controle Ambiental - PCA, o início da operação do empreendimento ou das unidades, instalações e sistemas integrantes da atividade, na área de interesse.

Para que as licenças listadas acima sejam executadas faz-se necessário a utilização dos seguintes instrumentos (Tabela 6):

Tabela 6: Instrumentos listados no Art. 6º da Resolução CONAMA 23/94.

I - ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL - EIA e respectivo RIMA, de acordo com as diretrizes gerais fixadas pela Resolução/conama/nº 001, de 23 de janeiro de 1986;

II - RELATÓRIO DE CONTROLE AMBIENTAL - RCA, elaborado pelo empreendedor, contendo a descrição da atividade de perfuração, riscos ambientais, identificação dos impactos e medidas mitigadoras;

III - ESTUDO DE VIABILIDADE AMBIENTAL - EVA, elaborado pelo empreendedor, contendo plano de desenvolvimento da produção para a pesquisa pretendida, com avaliação ambiental e indicação das medidas de controle a serem adotadas;

IV - RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL - RAA, elaborado pelo empreendedor, contendo diagnóstico ambiental da área onde já se encontra implantada a atividade, descrição dos novos empreendimentos ou ampliações, identificação e avaliação do impacto ambiental e medidas mitigadoras a serem adotadas, considerando a introdução de outros empreendimentos;

V - PROJETO DE CONTROLE AMBIENTAL - PCA, elaborado pelo empreendedor, contendo os projetos executivos de minimização dos impactos ambientais avaliados nas fases da LPper, LPpro e LI, com seus respectivos documentos.

Vale ressaltar que não existe uma licença específica voltada para o processo de descomissionamento de instalações offshore, porém qualquer tipo de impacto que possa acontecer durante este processo deverá ser listado no Estudo de Impacto Ambiental (EIA).

2.5.2 Resolução CONAMA n° 237/97

Como a atividade voltada à indústria *offshore* possui caráter poluidor é necessário um estudo prévio e seu respectivo relatório sobre possíveis impactos no meio ambiente, esta resolução apresenta a Licença Ambiental e seu processo de licenciamento como previsto no Art. 2°:

“A localização, construção, instalação, ampliação, modificação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como os empreendimentos capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento do órgão ambiental competente, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis.”

Portanto, deverá ser apresentado ao órgão ambiental competente a licença ambiental e todo o processo de licenciamento como requisito obrigatório para liberação da atividade de caráter poluidor.

2.5.3 Resolução ANP n° 25/02

A portaria ANP n° 25/02 estabelece um regulamento sobre o abandono de poços, com o objetivo de discriminar os procedimentos que permitam um isolamento eficaz da área produtiva. Este abandono consiste em diversas etapas garantindo o perfeito isolamento e evitando a migração de fluido da formação até a superfície do mar.

Este procedimento poderá ser permanente ou temporário, quando ainda existir interesse em continuar produzindo. O isolamento pode ser por tampões de cimento ou mecânicos. Vale ressaltar que este procedimento só será realizado após uma autorização da ANP, levando ao IBAMA a função de fiscalizar a operação.

Esta resolução foi revogada e substituída pela Resolução ANP n.º 46/2016, de 1º de novembro de 2016, intitulada Regime de Segurança Operacional para Integridade de Poços e Gás – SGIP.

2.5.4 Resolução ANP nº 27/06

O presente regulamento técnico estabelece os procedimentos para a Desativação de Instalações em Áreas de Concessão na Fase de Produção de petróleo ou gás natural. Define ainda os conteúdos do Programa de Desativação de Instalações e do Relatório Final de Desativação de Instalações, assim como alguns condicionantes para a Devolução de Áreas (ANP, 2006).

Algumas definições descritas no tópico 6 referentes a desativação de instalações marítimas serão destacados:

- a) O Abandono de Poços marítimos deve atender à regulamentação específica da ANP, sem prejuízo de outras determinações expedidas por outros órgãos competentes;
- b) A não remoção de instalações ou partes de instalações, quando tecnicamente justificada, deverá ser autorizada pela Autoridade Marítima e os remanescentes deixados na área deverão ser sinalizados de acordo com as normas vigentes;
- c) Qualquer modificação que seja feita em Instalações de Produção ou partes de Instalações de Produção desativadas e não removidas deverá ser comunicada à Autoridade Marítima com antecedência de 180 dias;
- d) As Instalações de Produção pesando até 4.000 toneladas no ar, excluídos o convés e a superestrutura, deverão ser retiradas totalmente em lâmina d'água até 80 metros, devendo ser cortadas a 20 metros abaixo do fundo em áreas sujeitas a processos erosivos. Na ausência de processos erosivos, as instalações poderão ser cortadas ao nível do fundo;
- e) Toda e qualquer Instalação de Produção cuja remoção for tecnicamente desaconselhada deverá ser cortada abaixo de uma profundidade de 55 metros;

- f) Qualquer Instalação de Produção ou parte de Instalação de Produção deixada acima da superfície do mar deverá ser mantida adequadamente de forma a prevenir falha estrutural;
- g) Após a retirada das Instalações de Produção ou partes de Instalações de Produção, o fundo marinho deve ser limpo de toda e qualquer sucata, em lâminas d'água inferiores a 80 metros;
- h) A utilização de Instalações de Produção ou partes delas para criação de recifes artificiais será precedida por sua adequação a este uso específico, pela aprovação da implantação do recife pela Autoridade Marítima e pela aprovação de sua manutenção e monitoramento pelo órgão ao qual couber o controle ambiental da área.

(ANP, 2006)

Ainda ressaltando que, a retirada definitiva de operação de qualquer Instalação de Produção de um campo deve ser previamente comunicada à ANP, através das atualizações do Programa Anual de Trabalho e Orçamento – PAT da concessão.

Assim, fica determinado que com o término da concessão todas as instalações precisam ser removidas da área, ou caso permaneça deverá existir documentações emitidas pela autoridade marítima ou órgão ambiental responsável.

Atualmente, esta resolução se encontra em revisão e contando com a participação da ANP, Marinha do Brasil e IBAMA para um trabalho conjunto entre as principais diretrizes a serem estabelecidas no descomissionamento. Uma das exigências mais importantes é a análise multicritério para auxiliar na tomada de decisão, mostrando aos órgãos agenciadores a justificativa e a importância para a solução adotada.

2.5.5 Resolução ANP nº 25/2014

Esta resolução apresenta aspectos sobre a devolução das Áreas na Fase de Exploração como previsto no Art. 1º:

“Fica aprovado o Regulamento Técnico de Devolução de Áreas na Fase de Exploração, contido no Anexo a esta Resolução, doravante denominado Regulamento Técnico, o qual define os procedimentos a serem adotados na Devolução de Áreas na Fase de Exploração e

estabelece os conteúdos do Plano de Devolução de Áreas, previsto nos Contratos, e do Relatório Final de Devolução”.

(ANP, 2014)

2.5.6 Resolução ANP nº 41/2015

Aprova o Regulamento Técnico do Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional de Sistemas Submarinos – SGSS, estabelecendo requisitos e diretrizes no que diz a respeito à segurança operacional de todo o sistema submarino. Portanto deve-se levar em conta a todos os aspectos ligados à proteção da vida humana e do meio ambiente, integridade mecânica dos equipamentos e à operação segura dos sistemas submarinos (ANP, 2015).

Nesta resolução o processo de descomissionamento é definido como conjunto de ações legais, técnicas e procedimentos de engenharia aplicados de forma integrada a um duto ou Sistema Submarino, visando assegurar que sua desativação ou retirada de operação atenda às condições de segurança, preservação do meio ambiente, confiabilidade e rastreabilidade de informações e de documentos (ANP, 2015).

No âmbito do descomissionamento de dutos, deverá ser elaborado, implementado e documentado um procedimento para o recolhimento do duto, componentes e complementos com o objetivo de preservar sua integridade. O procedimento para o recolhimento deverá contemplar no mínimo: análise de riscos, inspeção submarina, medidas preventivas de impactos ambientais, monitoramento, acompanhamento por ROV (*Remotely Operated Underwater Vehicle*) ou outro método de inspeção visual etc.

Por fim, também deverá abranger no mínimo os seguintes itens (ANP, 2015):

- a) Definição de precauções e restrições a serem seguidas;
- b) Condicionamento, incluindo quando necessário limpeza e os meios para preservação e redução dos efeitos de degradação;
- c) Separação física e/ou tamponamento; e
- d) Tratamento e destinação final de resíduos e efluentes.

2.6 REGULAMENTAÇÕES INTERNACIONAIS X REGULAMENTAÇÕES NACIONAIS

É possível notar claramente a evolução do quadro normativo internacional quando comparado ao nacional, sendo composto por diferentes níveis de detalhamento descritos nas regulamentações. Sendo assim, torna-se essencial a definição de um conjunto claro e específico de normas aplicáveis ao contexto nacional, deixando claro a obrigatoriedade e responsabilidade de cada parte envolvida no processo.

A preocupação sobre a desmobilização no Brasil começou a mostrar um avanço a partir da década 90, com a criação do IBAMA em 1989 e ANP em 1997. As primeiras abordagens relacionadas ao processo de desmobilização se remetem a preocupação com o meio ambiente, e posteriormente, com ênfase na indústria de petróleo.

É possível concluir que nos países como Reino Unido, Noruega e Estados Unidos, dispõem de uma estrutura consolidada capaz de regulamentar essas atividades, diferente do Brasil que se concentra no âmbito exploratório.

Da mesma forma, no quadro normativo internacional sobre descomissionamento é possível perceber ausência de normas voltadas para aspectos operacionais e uma abordagem mais incorporada das etapas de descomissionamento.

A Tabela 7 retrata, a título exemplificativo, as principais referências e propostas no âmbito nacional e internacional:

Tabela 7: Comparação entre as normativas brasileiras e internacionais sobre o descomissionamento.

Eixos	Regulamentação Brasileira		Regulamentação Internacional		
	Regulamentos ANP	Termo de Referência - IBAMA	UNCLOS	Res. A.672(16) IMO	OSPAR
Quanto à remoção	Remoção completa ou parcial	O TR só fala em retirada	O texto fala em remoção. Admite a remoção parcial	Remoção completa ou parcial	Remoção integral
Quanto à recuperação ambiental	Não dispõe	Não dispõe	Não dispõe. Regras a cargo de	Não dispõe. Regras a cargo de	Não dispõe. Regras a cargo de

			cada país signatário	cada país signatário	cada país signatário
Quanto ao monitoramento ambiental	Não dispõe	Não dispõe	Não dispõe. Regras a cargo de cada país signatário	Não dispõe. Regras a cargo de cada país signatário	Dispõe

Fonte: (TEIXEIRA, 2013)

3. DUTOS RÍGIDOS E OPÇÕES DE DESCOMISSIONAMENTO

Os dutos rígidos são um dos componentes principais do sistema submarino, sendo capazes de interligar e escoar a produção de um campo. Se diferenciam pela composição do material fabricado (aço carbono ou ligas de aço) projetados para suportar condições severas de operação. Possuem revestimentos adicionais que fornecem proteção contra corrosão e, em alguns casos, isolamento térmico.

Na maior parte dos projetos existentes o problema se concentra-se nas centenas de quilômetros de dutos instalados e que precisará ser avaliada quanto aos aspectos relacionados a integridade dessas estruturas. A integridade dessas estruturas é uma das considerações mais importantes para o processo, por isso deve ser considerado durante toda a etapa do projeto.

A etapa de descomissionamento dos dutos é inerente quando ele não traz mais benefícios econômicos para o projeto ou quando se encontra em risco de operação (PHILIP et al., 2014). O procedimento de retirada desses materiais se torna um aspecto decisivo para redução de impactos que poderão surgir na região, e atualmente não existem legislações brasileiras vigentes que atuem nas diretrizes de remoção e disposição de dutos.

Diferente das práticas realizadas no Mar do Norte, os dutos no Brasil não foram projetados para serem instalados enterrados, porém com movimentos das correntes oceânicas algumas seções das tubulações poderão estar cobertas no momento do descomissionamento.

Uma das principais desvantagens das tubulações rígidas são a corrosão externa, e dependendo do fluido a ser transportado, a corrosão interna e erosão também diminuem a vida útil quanto a utilização desses dutos. Além disso, existem muitas incertezas quanto as informações disponíveis quanto a situação atual dessas tubulações.

Quanto as normas aplicáveis ao descomissionamento de dutos rígidos, ainda não existem legislações específicas nacionais e internacionais. Atualmente, existem guias elaborados por diferentes países e que muitas operadoras adotam como premissa inicial de estudo.

3.1 Condições dos dutos

Uma vez determinado a remoção dos dutos, independente da solução obtida (retirar ou abandono *in situ*) deverá ser analisado a disposição desse duto no fundo do mar. Existem três aspectos que serão levados em consideração:

- Existência de cruzamento;
- Posição no leito marinho;
- Integridade estrutural.

A presença de cruzamento entre dutos é um aspecto inevitável quando se trata de uma área de exploração ampla e com um layout espalhado. Nesses casos é aconselhável desmobilizar entre as regiões do cruzamento, antes e depois, respeitando o ponto a ser descomissionado e o ponto de cruzamento das estruturas (Figura 5) (OIL AND GAS UK, 2013). Nesse caso, o recolhimento demandará a realização de cortes submarinos e possível movimentação da estrutura no leito do mar.

No caso de um duto que está para ser removido e sob algum duto ainda em fase de produção, a solução ideal seria desconsiderar a remoção até que o duto que estiver em produção seja desmobilizado também.

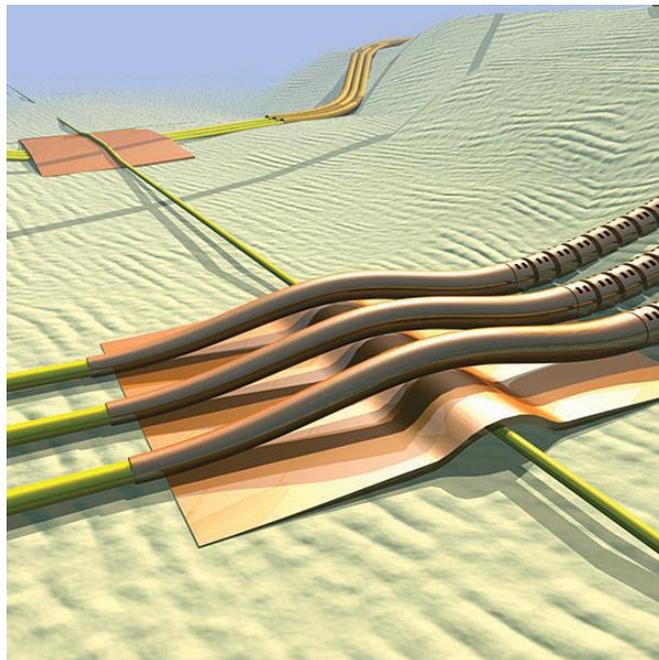


Figura 5: Cruzamento de dutos submarinos. Fonte: <http://www.bmpworldwide.com>

Atualmente, muitos projetos que não possuem seus dutos enterrados na instalação, mas devido aos movimentos de ondas e correntes foram depositando sedimentos, neste caso, a complexidade do processo aumenta por possuir trechos exposto e trechos enterrados (Figura 6). Conforme o posicionamento em que o duto se encontra no leito do mar a solução se torna restrita ou de fácil acesso no momento da remoção.

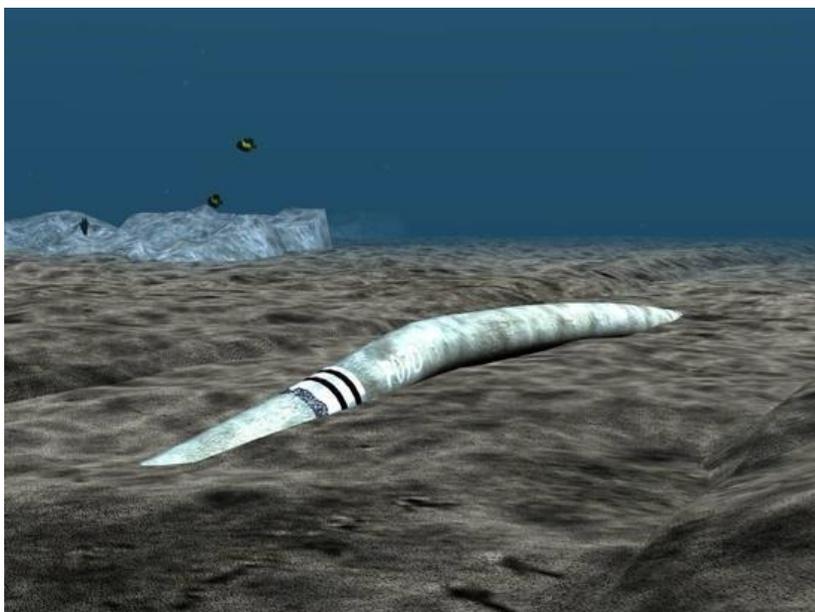


Figura 6: Duto com trechos enterrados e expostos. Fonte: <http://www.neil-brown.com/pipeline-geotechnics-our-entry-points-for-design>

A integridade estrutural é o fator mais importante durante o processo de descomissionamento, pois durante o processo de instalação os dutos já foram submetidos a deformações que podem ter comprometido a sua estrutura, principalmente para o caso dos dutos rígidos (MATTOS, 2012).

Uma vez instalados e assentados no leito do mar, estarão expostos à movimentação que irão gerar atritos com o solo, podendo danificar as camadas mais externas. Todas essas possibilidades na qual o duto está sujeito irão limitar a técnica a ser utilizada e cada uma deverá ser estudada caso a caso.

3.2 Opções de descomissionamento dos dutos

Na etapa de descomissionamento dos dutos serão envolvidos cinco critérios fundamentais para que esse processo ocorra, são eles: ambiental, segurança, técnico, econômico e social. Tais critérios são capazes de retratar diferentes aspectos do processo

de forma conjunta, e utilizados na maioria dos estudos no mundo (CLAISSE et al., 2015; MANAGO; WILLIAMSON, 1997; SHELL U. K. LIMITED, 2017). A atividade deverá ocorrer de forma a prevenir e minimizar os riscos operacionais e impactos sobre o meio ambiente.

É importante destacar que a complexidade e riscos de execução varia para cada opção, portanto as alternativas estão associadas a um determinado processo e que deverão ser avaliados para cada caso, considerando aspectos de projeto como: lâmina d'água, diâmetro do duto, método na qual o duto foi instalado, condições de integridade etc.

No esquema abaixo são apresentadas as principais opções de descomissionamento para os dutos existentes (OIL AND GAS UK, 2013):

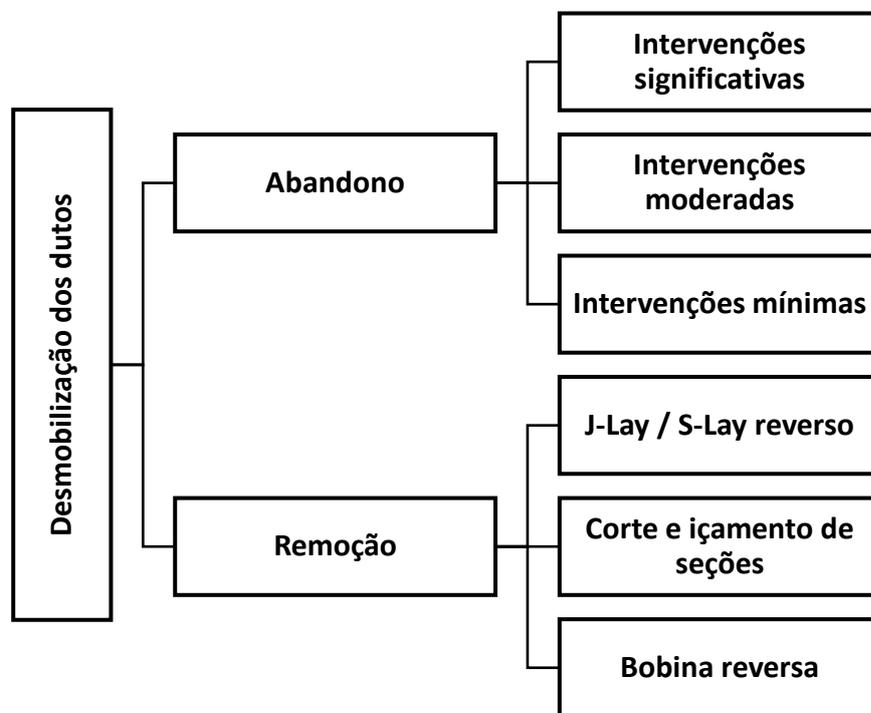


Figura 7: Opções de descomissionamento de dutos rígidos.

Vale ressaltar que para os dutos rígidos, alguns processos de descomissionamento não recomendam a sua reutilização, uma vez que já passaram por ciclos de tensão no ato da instalação e remoção o que comprometerá a sua integridade (SALGADO; AZEVEDO, 2016).

Para o processo de instalação dos dutos (também utilizadas para o lançamento reverso) utilizam-se embarcações especiais, conhecidas como PLSVs (*Pipe Laying Support Vessels*). Essas embarcações possuem um recurso limitado, pois disputam com projetos novos e requerem um custo elevado (AGUIAR, 2013).

Por se tratar de um problema multidisciplinar, o descomissionamento é uma etapa que requer muito conhecimento de especialistas e diversas áreas de conhecimento, pois envolve um extenso grupo de partes interessadas (*stakeholders*) (FOWLER et al., 2014). Poderão existir diversas soluções aceitáveis para um mesmo projeto, sendo cada uma dela direcionada a cada parte envolvida.

3.2.1 Remoção por bobina reversa

Embora não recomendado para o descomissionamento de dutos rígidos e com revestimento de concreto, este método consiste da utilização de um carretel acoplado ao navio para o içamento e armazenamento do duto nesta bobina (Figura 8). Por constituir de um sistema de rolamento, seu diâmetro é limitado para dutos de até 16 polegadas e seu revestimento não poderá ser de alta rigidez (OIL AND GAS UK, 2013).

Torna-se inviável a realização desta operação nos dutos rígidos, principalmente os de maiores diâmetros, pois no momento do recolhimento os dutos poderão não suportar as cargas do tensionador e romper.

Este método se restringe para os dutos rígidos, perdendo a sua aplicabilidade de reutilização após o processo de descomissionamento. Ao contrário do que ocorrem com os dutos flexíveis, não foram projetados para sofrer diversos ciclos de deformação.

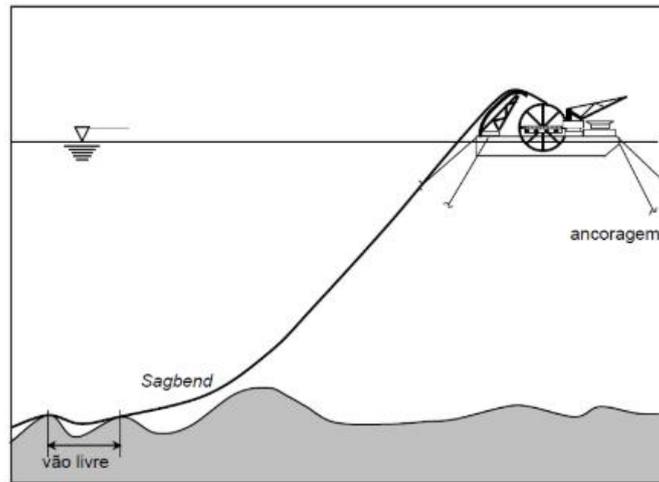


Figura 8: Embarcação para instalação e remoção de dutos por bobina reversa. FONTE: (MATTOS, 2012) .

3.2.2 Remoção por S-LAY / J-LAY reverso

O método de remoção *S-Lay* consiste em uma forma que a instalação de apoio do navio para o recebimento do duto esteja na posição horizontal, na medida em que é recolhido ou lançado adquirir uma configuração em “S”. A embarcação recebe seções destes dutos através do *stringer* na qual é responsável por dar a transição suave a esses dutos (Figura 9).

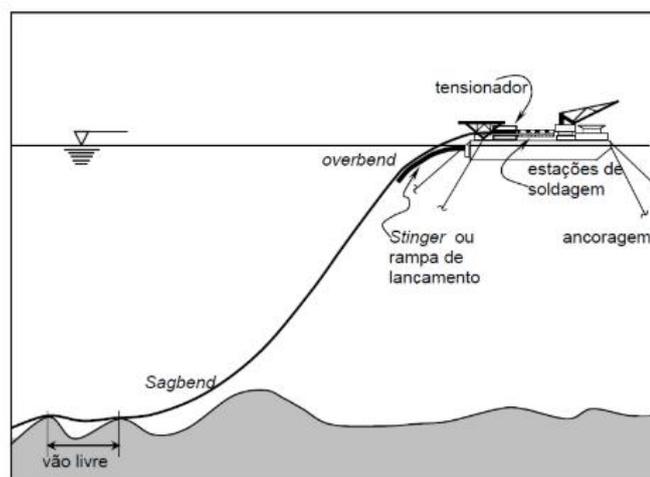


Figura 9: Embarcação para instalação e remoção de dutos por "S-Lay". FONTE: (MATTOS, 2012)

O método de remoção *J-Lay* consiste em uma variação do método *S-Lay*, mudando apenas a configuração em que esses dutos chegam à embarcação, neste caso

praticamente vertical. Por isso, este método foi desenvolvido primordialmente para águas profundas (MATTOS, 2012).

Este método de remoção é recomendado para dutos sem restrição de diâmetros ou com revestimentos a base de concreto para evitar a flambagem localizada no material (Figura 10).

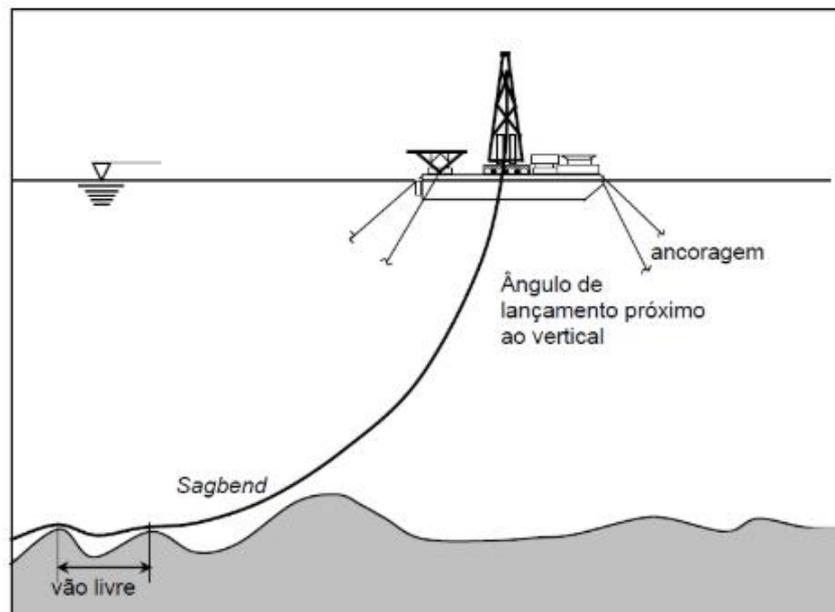


Figura 10: Embarcação para instalação e remoção de dutos por "J-Lay". FONTE: (MATTOS, 2012)

3.2.3 Remoção por corte e içamento

Além das opções existentes de remoção, a opção por corte e içamento se destaca por ser utilizada em situações nas quais as características estruturais não são possíveis de ser determinadas ou incertas. Atualmente, não é uma técnica muito conhecida para o descomissionamento, porém são operações de rotina no cenário *offshore*.

O método de corte e içamento consistem na fragmentação dos tubos submarinos com auxílio de mergulhadores ou ROV (veículo submarino operado remotamente) em seções menores no fundo do mar com as técnicas normais de levantamento de rotina utilizando navios de transporte pesados.

Quando comparadas as técnicas de remoção anteriores apresenta como vantagem a não limitação do diâmetro e comprimento do duto, porém é uma operação demorada e muito cara quando se trata de grandes linhas a serem descomissionadas.

Segundo (OIL AND GAS UK, 2013) as principais ferramentas utilizadas neste processo, são:

- Jato de água pressurizado;
- Corte por fio de diamante;
- Serras retas ou circulares;
- Cisalhadoras hidráulicas.

A escolha por um método ou ferramenta irá depender das condições na qual os dutos estarão submetidos, podendo ter influência do ambiente em que ele estará instalado. Além disso, deve-se assegurar a vida dos mergulhadores e o meio marinho que está exposto.

3.2.4 Abandono com intervenção mínima

A intervenção mínima só será realizada caso o duto tenha sido parcialmente enterrado ou entrincheirado no ato da instalação e que irá permanecer nessa condição ao longo da fase produtiva de um campo. Neste processo o principal aspecto é a garantia de limpeza dos dutos por processo de “pig” ou com produtos químicos, e a correta depressurização. Nesse caso, o duto poderá ser preenchido com água do mar.

3.2.5 Abandono com intervenção moderada

Existem algumas situações que podem trazer riscos aos usuários do mar, portanto é indicada a remoção/abandono de seções desses dutos. Geralmente a intervenção se refere a partes situadas sobre trincheira ou nas proximidades de outras estruturas, sendo possível o corte e elevação para superfície ou sofrer um novo soterramento/entrincheiramento dessas seções que estão com algum tipo de intervenção (OIL AND GAS UK, 2013).

3.2.6 Abandono com intervenção significativa

Atualmente, esta opção é adotada para projetos que tiveram como opção o abandono das linhas *in situ*, sendo necessária uma constante inspeção da situação com que esse duto se encontra no leito do mar. Para este caso são selecionados dutos que possuem um grande segmento desentrincheirado ou invés de propor algum tipo de remoção.

A intervenção ocorre nestas etapas (OIL AND GAS UK, 2013):

- Limpeza da linha;
- Remoção das ligações com outros equipamentos ou conectores;
- Entrincheiramento abaixo do leito do mar.

A dimensão da trincheira em que duto será submetido é determinada pelas condições do leito marinho e conseqüentemente a mitigação dos riscos oferecidos aos demais usuários do mar (OIL AND GAS UK, 2013).

4. METODOLOGIA

4.1 ESTRUTURAÇÃO DO ESTUDO

Os problemas relacionados ao descomissionamento envolve complexidade nas decisões e uma variedade de funções de desempenho, demandando ferramentas capazes de fazer análises e otimizar a solução.

A primeira etapa consiste na coleta dos dados, ou seja, todas as informações a respeito do duto a ser descomissionado, incluindo informações de projeto, condições ambientais e situação em que esse duto se encontra. Nesta etapa também pode ser identificado os principais *stakeholders* que iram atuar no âmbito do projeto e as principais restrições (regulamentações, normas e resoluções).

A segunda etapa consiste na definição dos critérios e subcritérios a serem considerados no estudo. Essa escolha pode ser a partir de alguns já existentes ou ser elaborado de forma subjetiva pelo tomador de decisões.

A terceira etapa é a escolha do método a ser estudado e sua implementação, a fim de obter um resultado entre os critérios e subcritérios em relação a cada opção estudada.

A quarta etapa é a avaliação de cada alternativa em termos de cada critério selecionado. Por fim, a última etapa pode ser implementada a análise de sensibilidade para avaliar possíveis alterações causadas por pequenos ajustes no modelo, ou seja, trata-se de avaliar a consistência dos resultados obtidos.

4.2 OBTENÇÃO DE DADOS E ESTUDO DE CASO

O presente trabalho irá utilizar as diretrizes propostas pela DNV-GL (DNV-GL, 2018), que foi desenvolvida para orientação das avaliações comparativas das diferentes opções de descomissionamento para instalações submarinas no Brasil.

A plataforma de Cação fica situada no Estado do Espírito Santo, a cerca de 47 Km a sudeste da cidade de São Mateus e a 7 Km da linha da costa, em profundidade aproximada de 19 metros. É composta por três unidades do tipo fixa e interligadas por passarelas entre

elas (Figura 11). O escoamento da produção é realizado através de três dutos, sendo um oleoduto de 6” e dois gasodutos de 4” e 10”.



Figura 11: Plataformas de Cação

Ao longo deste trabalho, será considerado somente o oleoduto de 6” que interliga a Plataforma de Cação à Estação coletora de Fazenda Cedro. O diâmetro nominal do duto é de 6” e um comprimento total de 18.550 metros, sendo 9.000 metros de trecho submarino e 9.550 metros de trecho terrestre (não considerado nessa análise).

Vale ressaltar que as técnicas de remoção dos dutos estão diretamente relacionadas a características de projeto: rígido ou flexível, diâmetro, métodos de instalação etc. Para fins desse trabalho acadêmico iremos considerar: abandono total, abandono com deposição de rocha nas extremidades, corte e elevação de seções e *s-lay* reverso.

A metodologia realizada nesta pesquisa foi constituída de um levantamento de dados baseado no relatório de descomissionamento do Campo de Cação submetido ao IBAMA, e com isso transformados em dados quantitativos/qualitativos para entrada da ferramenta.

Em seguida, será construída uma matriz de informações para o descomissionamento de um duto rígido de exportação, levando em consideração aspectos técnicos de alternativas de descomissionamento baseadas no conhecimento de cada processo. Essa matriz será um dado de entrada para o *software* PROMETHEE.

4.3 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS E SUBCRITÉRIOS

A definição de um conjunto de critérios e subcritérios adequados torna uma etapa essencial para realização de uma avaliação comparativa entre as diferentes alternativas existentes de remoção.

Os aspectos a serem considerados para a determinação desta etapa, são:

- Definição do contexto do descomissionamento (arranjo físico, cruzamentos, composição do material, integridade etc.);
- Definição de grupos de instalações/equipamentos e opções factíveis para o descomissionamento (técnicas apropriadas, principais operações envolvidas, recursos disponíveis etc.).

A Figura 12 ilustra os cinco critérios deste estudo, sendo os mesmos utilizados pelos principais guias práticos de descomissionamento dos países do Reino Unido. Os subcritérios foram os propostos no guia de descomissionamento proposto pela DNV-GL.

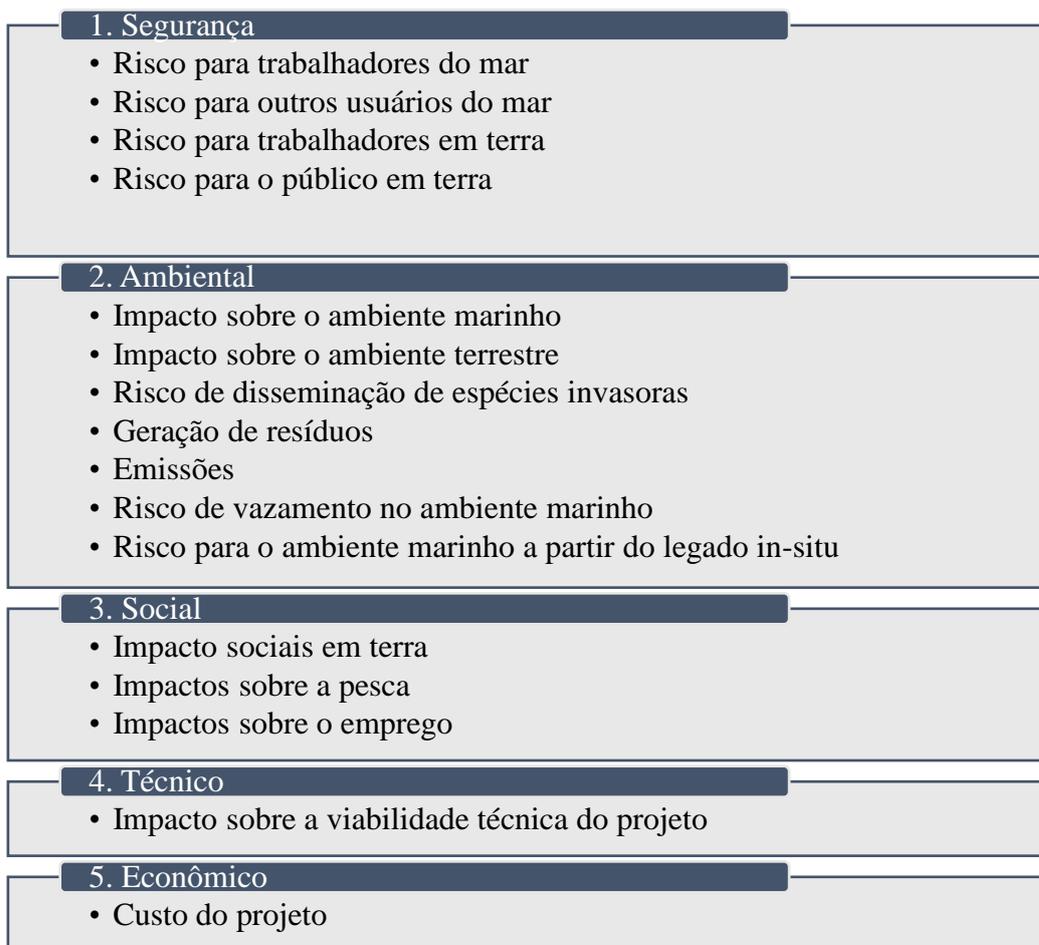


Figura 12: Critérios e subcritérios abordados no estudo de caso. FONTE: (DNV-GL, 2018)

A seguir será descrito o procedimento de cálculo de todos os subcritérios que compõe a matriz de decisão. Vale ressaltar que tais métodos poderão ser obtidos quantitativamente, ou seja, baseados em valores calculados ou escores numéricos ou qualitativamente, baseado em esquema de cores.

Para resolver a problemática da escolha da melhor solução a ser executada será aplicada uma análise multicritério através do programa *Visual PROMETHEE*. Este método destaca-se pela sua facilidade de aplicação e intuitividade de entendimento por parte do decisor, o que simplifica o processo de modelagem de preferências e, consequentemente, aumenta a efetividade da aplicação do método multicritério.

Uma análise de sensibilidade utilizando distribuição triangular será realizada comparando três possíveis cenários: mais provável, mínimo e máximo, confrontando com diferentes cenários de pesos (será detalhado adiante).

4.3.1 Avaliação dos subcritérios de segurança

O critério relacionado a segurança dos trabalhadores e pessoas envolvidas foram divididos em 4 subcritérios, como mostrado na Figura 12. Todos os subcritérios foram avaliados de forma quantitativa, ou seja, expressa de forma numérica. Nesta opção os cenários são avaliados usando técnicas apropriadas para cada cálculo.

Para cada alternativa de descomissionamento os subcritérios poderão ser avaliados usando os seguintes passos:

- Identificar as atividades existentes em cada processo;
- Para cada atividade procurar o código CNAE (classificação nacional de atividade econômica) correspondente;
- Para cada atividade obter o valor de FAR (*Fatal Accident Rate*), sendo definido como o número de mortes em uma atividade específica para cada 100 milhões de horas trabalhadas. Os valores referentes as taxas de mortalidade estão disponíveis no Anuário Estatístico de Acidentes publicados todo ano (FAZENDA; SOCIAL; PREVIDÊNCIA, 2016). Portanto:

$$FAR = \frac{TM}{2}$$

Sendo TM a taxa de mortalidade de um dado ano.

- Para cada tipo de atividade estipular o número de pessoas requeridas e a duração da atividade (horas);
- A última etapa é feita calculando o PLL (*potential loss of life*) utilizando a seguinte equação:

$$PLL = \frac{FAR * \text{número de pessoas necessárias} * \text{horas requeridas}}{10^8}$$

Por fim, o PLL é definido como o número médio de fatalidades, resultante dos cenários de acidente envolvidos nas atividades, ponderado pelas suas respectivas probabilidades de ocorrência dentro da duração das atividades.

4.3.2 Avaliação dos subcritérios ambientais

Uma etapa primária da área a ser descomissionada é o estudo preliminar do local, com o objetivo de mapear todos os fatores ambientais que podem ser diretamente afetados pelas atividades de descomissionamento.

- Impacto sobre o ambiente marinho ou terrestre

A avaliação é resultado de uma análise de impactos ambientais com objetivo de identificação de aspectos, fatores e seus potenciais efeitos durante as operações que poderão impactar o meio em que irá ocorrer as etapas de descomissionamento.

O impacto ambiental é consequência da combinação entre: aspectos ambientais x fatores ambientais. Os aspectos ambientais são ações e/ou energia associado as atividades operacionais que resultam em impactos e os fatores ambientais são os componentes do ecossistema e/ou processo que os impactos incidirão.

Para o cálculo sobre o ambiente marinho e terrestre foi utilizado avaliação do escore de magnitude do impacto ambiental e a avaliação do escore de sensibilidade do fator ambiental. Isso permite que as opções sejam comparadas em uma única escala normalizada, produzindo uma ordem de classificação das opções, que indica as opções mais preferidas e fornece suporte para o processo de tomada de decisão.

Como as medidas de desempenho em cada subcritério podem ser medidas usando diferentes unidades, o próximo passo é estabelecer uma escala comum e normalizar os resultados de desempenho de acordo com essa escala. Um procedimento para realizar essa igualdade de unidade e escala é normalizar os indicadores, expressando todos eles como números variando entre 1 e 4.

A magnitude do impacto pode ser avaliada considerando a: frequência, intensidade, extensão e duração (Tabela 8).

Tabela 8: Avaliação do escore de magnitude do impacto ambiental

Característica	Categoria	Descrição	Nota
Frequência	Pontual	Ocorrência de uma única vez	1
	Baixa	Ocorrência menores que 10 vezes	2
	Média	Ocorrência menores que 50 vezes	3
	Alta/Contínua	Ocorrência maiores que 50 vezes	4
Intensidade	Desprezível	Nenhuma característica ambiental alterada	1

	Baixa	Baixa alteração das características ambientais, mas as funções e processos naturais não são alteradas	2
	Média	Média alteração das características ambientais, mas as funções e processos naturais continuam forma alterada	3
	Alta	Grande alteração das características ambientais e os processos naturais são interrompidos temporariamente	4
Extensão	No local	Sem efeitos ou limitado ao campo	1
	Local	Raio de até 5 km	2
	Regional	Excede raio de 5 km e considera efeitos sociais	3
	Supra-regional	Excede raio de 5 km e com importância nos efeitos sociais regionais	4
Duração	Imediata	Duração de poucos dias e menos de uma semana	1
	Curto prazo	Duração de semanas e menos de 1 mês	2
	Médio prazo	Duração de meses e menos de 1 ano	3
	Longo prazo	Durações superiores a 1 ano	4

A sensibilidade do fator ambiental pode ser avaliada considerando a: relevância, resiliência e reversibilidade (Tabela 9).

Tabela 9: Avaliação do escore de sensibilidade do fator ambiental

Característica	Categoria	Descrição	Nota
Relevância	Nenhum	Não relevante para o ecossistema, processo ambiental, socioeconômica, ciência e conservação da biodiversidade	1
	Baixa	Baixa relevância para o ecossistema, processo ambiental, socioeconômica, ciência e conservação da biodiversidade	2
	Média	Média relevância para o ecossistema, processo ambiental, socioeconômica, ciência e conservação da biodiversidade	3
	Alta	Alta relevância para o ecossistema, processo ambiental, socioeconômica, ciência e conservação da biodiversidade	4
Resiliência	Alta	Grande capacidade de restauração das condições ambientais originais após o impacto incidente	1
	Média	Média capacidade de restauração das condições ambientais após o impacto	2
	Baixa	Baixa capacidade de restauração das condições ambientais após o impacto	3
	Nenhum	Não possui capacidade de restauração das condições ambientais após o impacto	4
Reversibilidade	Reversível	Retorno do fator ambiental similar a condições anteriores a incidência do impacto	1

	Médio	Possibilidade de retorno do fator ambiental a condições anteriores a incidência do impacto	2
	Talvez	Não é possível determinar a condição de retorno do fator ambiental a condições anteriores a incidência do impacto	3
	Irreversível	Não é possível retorno do fator ambiental a condições anteriores a incidência do impacto	4

A importância do impacto é obtida pelo produto do escore da magnitude e sensibilidade para cada fator. Caso exista diversos fatores, a importância é dada pela soma dos escores numéricos de todos os impactos identificados (Figura 13).

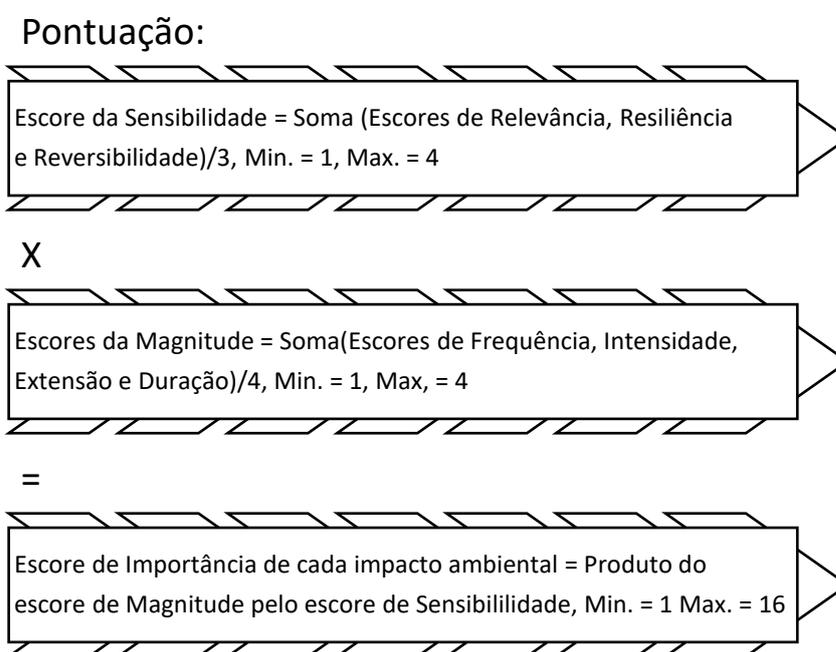


Figura 13: Avaliação do Escore de Importância do Impacto para cada fator

- Risco de disseminação de espécies invasoras

As espécies invasoras trazem ameaça e podem afetar a vida animal e vegetal, atividade econômica e cultural e principalmente para o meio aquático. Atualmente, no Brasil o Coral Sol vem se destacando por causar grande impacto relacionado a contaminação para a região em que se espalha.

Embora não apresentem riscos à população e comunidade nativa, se disseminam com muita facilidade em um curto período. A velocidade com que dominam a região traz alteração nas comunidades e populações de origem.

Por ser um aspecto sensível, deve ser adotado como objeto de decisão durante a etapa final de retirada, pois uma vez decidido pela remoção poderá contaminar estrutura e biomas onde ainda não esteja presente.

Para avaliar o índice de disseminação de espécies invasoras (Coral Sol) serão considerados dois fatores: magnitude da fonte e dispersão. Como as medidas de desempenho em cada subcritério podem ser medidas usando diferentes unidades, o próximo passo é estabelecer uma escala comum e normalizar os resultados de desempenho de acordo com essa escala. Um procedimento para realizar essa igualdade de unidade e escala é normalizar os indicadores, expressando todos eles como números variando entre 1 e 4.

Para a magnitude da fonte são considerados os seguintes subfatores: fator de cobertura médio, nível de perturbação durante o manejo, duração da liberação de larvas e porcentagem de área colonizável da instalação submarina (Tabela 10).

Tabela 10: Subfatores de magnitude da fonte

Subfatores de magnitude da fonte	Categoria	Nota
Fator de cobertura média	Nenhum ou baixo (<5%) - raro ou ausente	1
	Média (5,1 até 20%) - ocasional	2
	Alta (20,1 até 40%) - frequente	3
	Muito alto (>40,1%) - dominante ou abundante	4
Nível de perturbação durante o manuseio	Nenhum ou baixo: deixar <i>in situ</i>	1
	Médio: operações de manuseio <i>in situ</i>	2
	Alta - Levantar a estrutura para superfície para remoção	3
	Muito alta - Levantar e transportar a estrutura dentro da água para outro local	4
Duração da liberação das larvas	Período curto	1
	Alguns dias	2
	Alguns meses	3
	Período longo (deixada <i>in situ</i>)	4
Porcentagem de área colonizável na instalação submarina	Nenhum ou baixo (<25%)	1
	Média (25,1 até 50%)	2
	Alta (50,1 até 75%)	3
	Muito alto (>75,1%)	4

E para o fator dispersão, serão considerados os seguintes subfatores: distância até a costa, distância até região sensível, lâmina d'água e conectividade (Tabela 11).

Tabela 11: Subfatores dos meios de dispersão da fonte

Subfatores dos Meios de Dispersão	Categoria	Nota
Distância até a costa	Removida, enterrada ou muito longe (>80,1Km)	1
	Longe (40,1 a 80Km)	2
	Distância média (10,1 até 40Km)	3
	Próxima (até 10Km)	4
Distância até a região sensível	Removida, enterrada ou muito longe (>80,1Km)	1
	Longe (40,1 a 80Km)	2
	Distância média (10,1 até 40Km)	3
	Próxima (até 10Km)	4
Lâmina d'água	Removida, enterrada ou muito profunda (>120,1m)	1
	Profunda (80,1 até 120m)	2
	Média (40,1 até 80m)	3
	Rasa (até 40m)	4
Conectividade	Nenhuma ou baixo	1
	Moderada	2
	Alta	3
	Muito alta	4

A avaliação do escore final de disseminação de Coral Sol para cada opção é produto da média da magnitude e dos meios de dispersão. Através da matriz final é possível visualizar a intensidade do risco relativo a cada opção (Figura 14).

		Fator dos meios de dispersão			
		Possibilidade baixa de dispersão	Possibilidade média de dispersão	Possibilidade alta de dispersão	Possibilidade muito alta de dispersão
Fator Magnitude da fonte	Fonte muito forte	4	8	12	16
	Fonte forte	3	6	9	12
	Fonte média	2	4	6	8
	Fonte fraca	1	2	3	4

Figura 14: Matriz para avaliação do escore de risco de disseminação de espécies invasoras

- Geração de resíduos

A geração de resíduos considera o impacto no meio terrestre proveniente da quantidade de material retirada durante as operações. Portanto, para cada opção é calculado a quantidade total (toneladas) de material não reciclável ou resíduos perigosos (NORM) retirados do leito marinho.

Neste subcritério poderiam ser estimados a quantidade de materiais reciclados ou reutilizados, porém por se tratar de dutos rígidos já em operação por muitos anos (Campo de Cação) essa hipótese não foi abordada. Na Figura 15 é possível visualizar as etapas para obtenção deste subcritério.

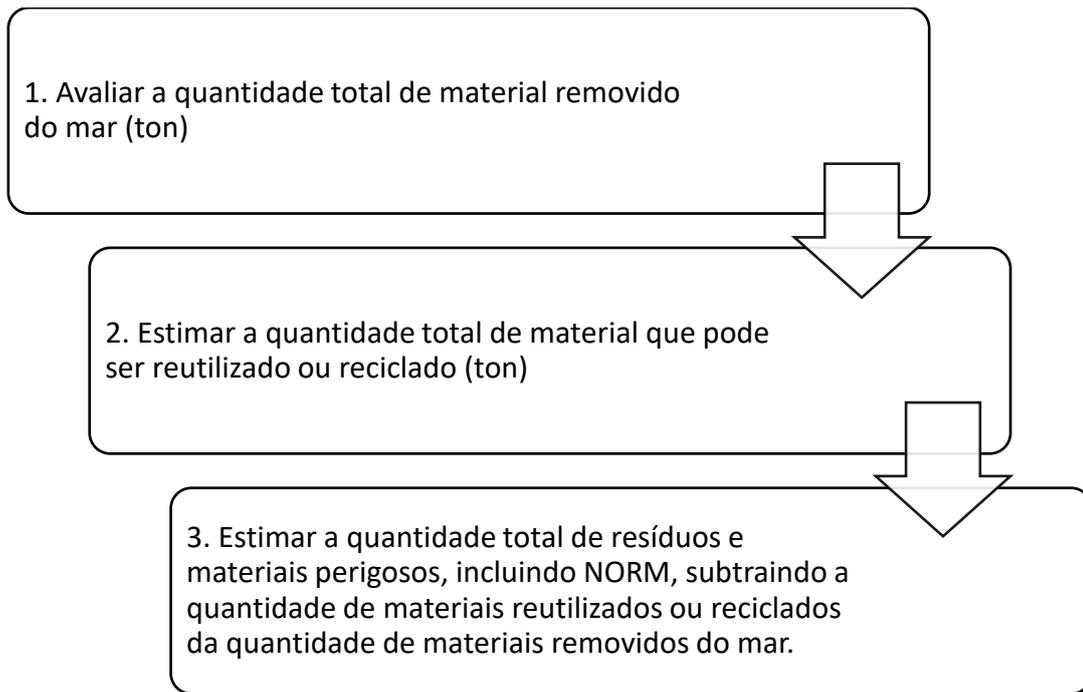


Figura 15: Avaliação da quantidade de resíduos gerados

- Emissões de GEE

As emissões de GEE (gases de efeito estufa) são oriundas de diversas fontes, como por exemplo: diesel consumidos pelas embarcações, diesel consumido durante o transporte terrestre de resíduos, processo de reciclagem etc.

A medida para o cálculo desse subcritério é expressa em tonelada de CO₂ equivalente, que corresponde a multiplicação das toneladas emitidas do GEE pelo potencial de aquecimento global.

Os dados de CO₂ equivalente foram obtidos tendo como base os dados do inventário de emissões atmosféricas da PETROBRAS no ano de 2014. A estimativa foi com base nos 20 meses propostos para a desmobilização, considerando que a própria plataforma não estará mais em operação.

Para as demais alternativas, foram feitas adaptações de cálculos referentes a duração das atividades.

- Risco de derramamentos para ambiente marinho

Para uma análise preliminar de identificação de cenários acidentais que poderão ocorrer vazamento de óleo para o ambiente marinho é necessário executar uma análise preliminar de risco (APR). O APR já é um processo existente na etapa de comissionamento e descomissionamento de um campo.

Cada cenário possível é necessário avaliar a categoria de probabilidade de ocorrência e suas categorias de consequências para o meio marinho. O escore de risco do cenário acidental é dada pela combinação das duas categorias e obtido de forma qualitativa (Figura 16).

		Probabilidade de ocorrência				
		Volume derramado (m ³)	1. Extremamente remoto	2. Remoto	3. Improvável	4. Provável
Severidade das consequências	4. Crítica	>200	4	8	12	16
	3. Alta	8 até 200	3	6	9	12
	2. Média	1 a 8	2	4	6	8
	1. Baixa	0 a 1	1	2	3	4

Figura 16: Matriz de risco ambiental de derramamento no mar

- Risco de legado *in situ* para o meio ambiente marinho

De acordo com a complexidade de um campo e os tipos de alternativas disponíveis, em muitos casos opta-se por remoção parcial da estrutura ou não remoção. O risco de legado *in situ* pode ser entendido como a incerteza com relação a degradação dos materiais que compõem o equipamento/estrutura e seus danos pro meio ambiente a longo prazo.

Devido ao alto grau de incerteza associado a este subcritério, é recomendado a utilização de um método qualitativo de avaliação. O risco é calculado sem considerar cenários ambientais, apenas assumindo que com o tempo o material irá degradar lentamente alterando os aspectos ambientais na área.

O risco de legado *in situ* é calculado com base na matriz abaixo e apresenta quatro níveis de incerteza ou de persistência, bioacumulação e toxicidade de material e quatro categorias de severidade das consequências.

		Nível de Incerteza sobre os Efeitos Ambientais de Longo Prazo ou Nível de Persistência, Bioacumulação				
		Percentual da quantidade total de material perigoso ou poluidor deixado <i>in situ</i> (%)	1. Baixo	2. Médio	3. Alto	4. Muito alto
Severidade	4. Crítica	70 até 100	4	8	12	16
	3. Alta	40 até 70	3	6	9	12
	2. Média	10 até 40	2	4	6	8
	1. Baixa	0 até 10	1	2	3	4

Figura 17: Avaliação qualitativa do risco ambiental de legado *in situ*

O risco total do legado para cada alternativa é dado pela soma dos níveis de risco obtidos para cada material perigoso deixado *in situ* para a respectiva opção.

4.3.3 Avaliação dos subcritérios de sociais

Os subcritérios que se referem aos aspectos sociais foram abordados de duas maneiras: score numérico (impactos sociais em terra) e quantitativamente (impactos sobre a pesca e número de empregos). A forma como foram calculados será descrito nas seções a seguir.

- Impacto sociais em terra

Os impactos sociais em terra estão relacionados a diversos aspectos, sendo eles: demanda por mão-de-obra, demanda por serviço, geração e descarte de resíduos que podem afetar a população, tráfego, atividade pesqueira.

A avaliação do impacto social em terra foi abordada da mesma forma que o ambiental sobre o ambiente marinho e terrestre. Como as medidas de desempenho em cada subcritério podem ser medidas usando diferentes unidades, o próximo passo é estabelecer uma escala comum e normalizar os resultados de desempenho de acordo com essa escala. Um procedimento para realizar essa igualdade de unidade e escala é normalizar os indicadores, expressando todos eles como números variando entre 1 e 4.

A importância do impacto é obtida pelo produto do score da magnitude (Tabela 12) e sensibilidade para cada fator (Tabela 13).

Tabela 12: Avaliação do escore de magnitude do impacto social em terra

Característica	Categoria	Descrição	Nota
Frequência	Pontual	Ocorrência de uma única vez	1
	Baixa	Ocorrência menores que 10 vezes	2
	Média	Ocorrência menores que 50 vezes	3
	Alta/Contínua	Ocorrência maiores que 50 vezes	4
Intensidade	Desprezível	Nenhuma característica ambiental alterada	1
	Baixa	Baixa alteração das características ambientais, mas as funções e processos naturais não são alteradas	2
	Média	Média alteração das características ambientais, mas as funções e processos naturais continuam forma alterada	3
	Alta	Grande alteração das características ambientais e os processos naturais são interrompidos temporariamente	4
Extensão	No local	Sem efeitos ou limitado ao campo	1
	Local	Raio de até 5 km	2
	Regional	Excede raio de 5 km e considera efeitos sociais	3
	Supra-regional	Excede raio de 5 km e com importância nos efeitos sociais regionais	4
Duração	Imediata	Duração de poucos dias e menos de uma semana	1
	Curto prazo	Duração de semanas e menos de 1 mês	2
	Médio prazo	Duração de meses e menos de 1 ano	3
	Longo prazo	Durações superiores a 1 ano	4

Tabela 13: Avaliação do escore de sensibilidade do impacto social em terra

Característica	Categoria	Descrição	Nota
Relevância	Nenhum	Não relevante para o ecossistema, processo ambiental, socioeconômica, ciência e conservação da biodiversidade	1
	Baixa	Baixa relevância para o ecossistema, processo ambiental, socioeconômica, ciência e conservação da biodiversidade	2
	Média	Média relevância para o ecossistema, processo ambiental, socioeconômica, ciência e conservação da biodiversidade	3
	Alta	Alta relevância para o ecossistema, processo ambiental, socioeconômica, ciência e conservação da biodiversidade	4
Resiliência	Alta	Grande capacidade de restauração das condições ambientais originais após o impacto incidente	1
	Média	Média capacidade de restauração das condições ambientais após o impacto	2
	Baixa	Baixa capacidade de restauração das condições ambientais após o impacto	3

	Nenhum	Não possui capacidade de restauração das condições ambientais após o impacto	4
Reversibilidade	Reversível	Retorno do fator ambiental similar a condições anteriores a incidência do impacto	1
	Médio	Possibilidade de retorno do fator ambiental a condições anteriores a incidência do impacto	2
	Talvez	Não é possível determinar a condição de retorno do fator ambiental a condições anteriores a incidência do impacto	3
	Irreversível	Não é possível retorno do fator ambiental a condições anteriores a incidência do impacto	4

Assim como no critério ambiental, o escore final é relacionado a cada fator. Caso exista diversos fatores, a importância é dada pela soma dos escores numéricos de todos os impactos identificados. A pontuação final é obtida conforme ilustrado na Figura 18.

Pontuação:

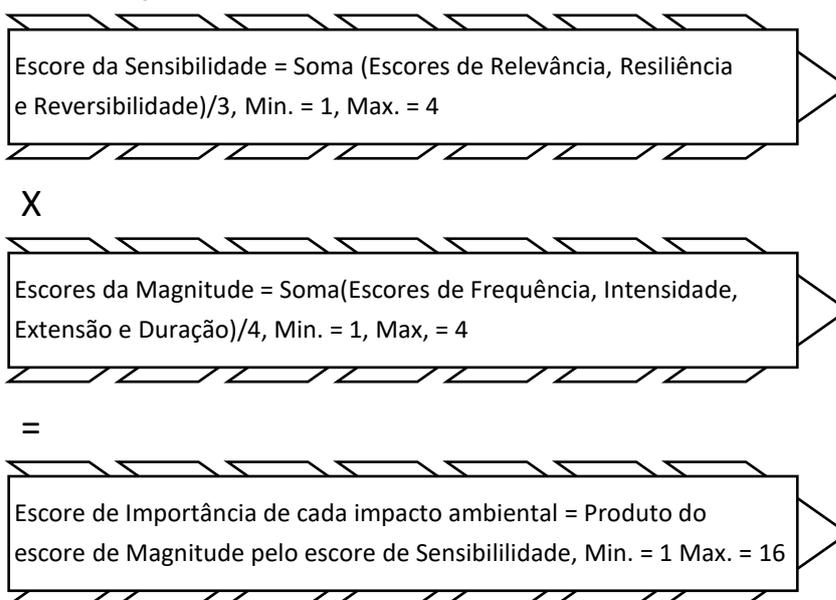


Figura 18: Avaliação do Escore de Importância do Impacto para cada fator

- Impacto sobre a pesca

O impacto sobre a pesca possui uma relação direta com a área relativa à atividade de descomissionamento, rota de embarcações da região, duração e o número de pescadores afetados.

Para obtenção dos impactos presentes na região, deve-se considerar algumas informações relevantes (DNV-GL):

- Mapeamento da área de pesca e locais de pesca;
- Caracterização das frotas e modalidades de pesca;
- Locação e caracterização dos desembarques;
- Produção de pescado por espécie, por modalidade, quando existente;
- Caracterização socioeconômica pesqueira etc.

Para cada alternativa, os impactos são estimados pela soma das áreas de pesca impactadas, sendo determinada da seguinte maneira: área de interferência das atividades e rotas de embarcações (Km²) multiplicada pela duração da interferência (anos) e pelo número de pescadores impactados.

- Impacto sobre emprego

Como as atividades possuem duração e proporções distintas, o número de trabalhadores-hora é equivalente as operações. Nesse subcritério a estimativa foi feita com base no número de pessoas por hora exigido para uma determinada alternativa, lembrando que cada alternativa é a soma de diversas atividades.

Os valores das horas utilizadas para o cálculo foram as mesmas utilizadas no processo relacionado ao critério de segurança dos trabalhadores.

4.3.4 Avaliação do subcritério técnico

O critério técnico aborda um único subcritério, o impacto sobre a viabilidade técnica do projeto. A viabilidade técnica é relativa a cada opção e pode estar relacionada a diversos parâmetros, como: nível de complexidade, ineditismo do equipamento/procedimento, grau de confiabilidade do equipamento, vulnerabilidade as condições ambientais, disponibilidade do recurso, etc. (Tabela 14).

Tabela 14: Avaliação dos impactos sobre a viabilidade técnica de cada opção

Questão	Fator	Descrição	Categoria	Nota
Execução	1. Complexidade da Opção	Quão complexa é a opção, quantas interfaces e/ou contratados diferentes serão	Grau de complexidade muito pequeno	1
			Grau de complexidade pequeno	2
			Moderadamente complexa	3
			Altamente complexa	4

		usados? Quantas SIMOPS?	Muito altamente complexa	5
2. Novidade do procedimento/ equipamento		Quão novo é o procedimento/equipamento? Comprovado no campo ou não?	Grau de novidade muito pequeno	1
			Grau de novidade pequeno	2
			Moderadamente novo	3
			Altamente novo	4
			Muito altamente novo	5
3. Confiabilidade de equipamento crítico/ Infraestrutura		Qual a probabilidade de ocorrência de falha de equipamento/ infraestrutura crítica?	Muito confiável	1
			Confiabilidade melhor do que a média	2
			Confiabilidade média	3
			Confiabilidade pior do que a média	4
			Confiabilidade muito baixa	5
4. Vulnerabilidade e às condições ambientais		Quão vulnerável é a opção/procedimento às condições ambientais?	Não afetado/ dificilmente afetado pelo clima	1
			Bastante imune ao clima	2
			Moderadamente vulnerável ao clima	3
			Altamente vulnerável ao clima	4
			Muito altamente vulnerável ao clima	5
5. Vulnerabilidade e às condições da Instalação submarina		Quão vulnerável é a opção às condições desconhecidas ou integridade da estrutura submarina?	Vulnerabilidade às condições da estrutura muito pequena	1
			Vulnerabilidade às condições da estrutura pequena	2
			Moderadamente vulnerável às condições da estrutura	3
			Altamente vulnerável às condições da estrutura	4
			Muito altamente vulnerável às condições da estrutura	5
Recuperação de falhas	6. Disponibilidade e de equipamento/ recurso reserva	O equipamento/ recurso reserva está prontamente disponível?	Sobressalente muito prontamente disponível	1
			Sobressalente prontamente disponível	2
			Disponibilidade moderada de sobressalente	3
			Disponibilidade baixa de sobressalente	4
			Disponibilidade muito baixa de sobressalente	5
	7. Uso de tipos alternativos de	Quão fácil seria usar outros tipos	Muito fácil de conseguir com tipos alternativos	1

	equipamento e/ou procedimento	de equipamentos e/ou procedimentos para completar a opção?	Fácil de conseguir com tipos alternativos	2
			Moderadamente fácil de conseguir com tipos alternativos	3
			Difícil de conseguir com tipos alternativos	4
			Muito difícil de conseguir com tipos alternativos	5

O escore é obtido de forma qualitativa e poderá ser escolhido através da opinião de especialistas. Quanto maior o escore, maior será o impacto da viabilidade técnica para aquela alternativa. Uma vez atribuído os escores, a nota final é o valor somado de todos os escores da opção, podendo variar entre 7 e 35.

4.3.5 Avaliação do subcritério econômico

Assim como no critério técnico, o critério econômico é composto por um único subcritério, custo total do projeto (\$). Neste estudo, foi utilizado todos os parâmetros do duto provenientes do relatório do Campo de Cação e o *software* QUESTOR como base para o cálculo do custo total de descomissionamento do duto.

Para entrada de dados no QUESTOR (Figura 19) foram utilizadas as seguintes informações:

- Lâmina d'água de 19 metros;
- Duto completamente enterrado;
- Comprimento de 9 Km de linha;
- Diâmetro nominal de 6”;
- Não foram considerados custos referentes a limpeza da linha (considerando a linha limpa e pronta para ser descomissionada).

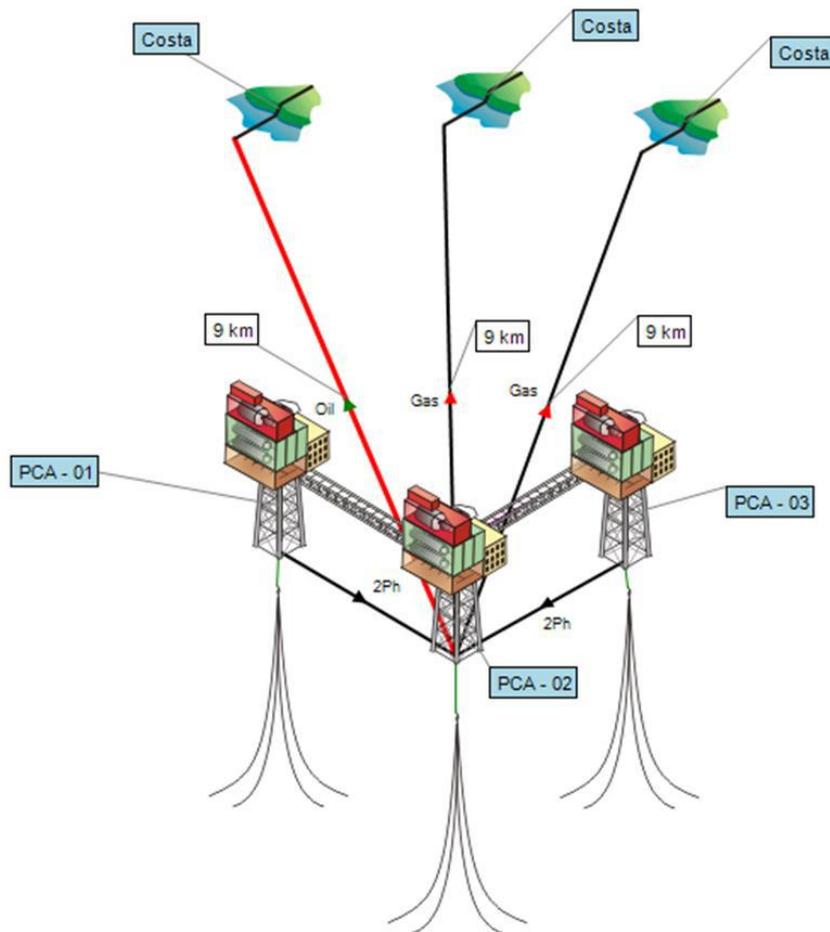


Figura 19: Modelo QUESTOR para o cálculo do custo de descomissionamento do duto

4.4 DETERMINAÇÃO DOS PESOS AOS CRITÉRIOS E SUBCRITÉRIOS

Diversos métodos de análise multicritério faz-se necessário a utilização de pesos, que são usados como forma de medição do grau de importância relativos aos critérios e subcritérios. Embora existam diversas metodologias na literatura, a determinação dos pesos ainda é obtida de forma aleatória, ou seja, o analista pré-determina o grau de importância conforme a opinião do decisor.

Desta forma, pode-se dizer que a atribuição dos pesos é um aspecto sensível no processo de tomada de decisão (OLIVEIRA; VALENTE; ALBERTO, 2009). Esse trabalho traz uma das formas de abordar a determinação dos pesos com base na opinião de especialistas do setor.

4.4.1 Método SIMOS

O método SIMOS foi desenvolvido em 1990 e tem sido utilizado nos problemas de tomada de decisão para auxiliar na atribuição de pesos aos critérios. É baseado em um procedimento de “jogo de cartas”, em que diferentes critérios são classificados em diferentes níveis pelo tomador de decisão, com sua importância percebida. O método é relativamente simples, e aparentemente foi desenhado para uma fácil interação com pessoas que desconheçam métodos multicritério. O objetivo é a atribuição indireta de valores numéricos aos pesos.

O método original proposto por SIMOS pode ser definido basicamente em três etapas (SISKOS; TSOTSOLAS, 2015):

1. Entrega-se ao tomador de decisão certo número de cartas, relacionadas ao número de critérios existentes, sendo cada carta correspondente a um único critério. Este também recebe certo número de cartas brancas.
2. Pede-se ao tomador de decisão que ordene as cartas (critérios) de forma crescente de importância. Critérios com igual importância devem ser agrupados. Cada critério é classificado de acordo com sua posição na ordem das cartas, que pode variar de 1 (menor importância) até n (maior importância).
3. Caso o tomador de decisão entenda que a distância entre um critério e seu(s) sucessor(es) é maior que uma unidade, este deve inserir cartas brancas para aumentar a diferença de classificação. O número de cartas brancas inseridas representa a distância entre os critérios, percebida pelo tomador de decisão.

Esta metodologia foi aplicada com base em uma entrevista, realizada com 3 pessoas com amplo conhecimento na área de descomissionamento. Aos entrevistados foram explicado o funcionamento do método e solicitados que eles ordenassem os critérios de acordo com sua importância. Neste momento não foram criados cenários hipotéticos, apenas uma visão geral da importância de cada um deles no ponto de vista pessoal.

A Tabela 15 abaixo descreve o resultado dessa pesquisa, ordenados de menor para maior importância:

Tabela 15: Resposta da entrevista realizada com os técnicos

Entrevistado 1	Entrevistado 2	Entrevistado 3
Social	Econômico	Econômico
Econômico	Técnico	Técnico
Carta branca	Social	Carta branca
Técnico	Carta branca	Social, segurança
Ambiental, segurança	Segurança	Carta branca
	Ambiental	Carta branca
		Carta branca
		Ambiental

Para facilitar o entendimento, a Tabela 16 mostra a referência adotada a cada critério ao longo desta pesquisa.

Tabela 16: Referência aos critérios adotados

Segurança	a
Ambiental	b
Social	c
Técnico	d
Econômico	e

CÁLCULO DOS PESOS PELO MÉTODO DE SIMOS TRADICIONAL

O método SIMOS convencional aborda uma metodologia simples e prática (SHANIAN et al., 2008), facilitando a manipulação dos dados e resultados. A soma dos pesos final deverá ser igual a 100, porém em muitos casos pelo arredondamento isso não acontece.

O fator mais relevante para o entendimento deste método é relativo ao ordenamento dos critérios, sendo o critério da primeira posição o menos importante e o critério da posição n o mais importante. O procedimento de cálculo será descrito a seguir e detalhado nas tabelas abaixo.

Seguidamente ao ordenamento dos critérios conforme a opinião de cada entrevistado, o número de cartas de cada *rank* é estabelecido. A posição de cada critério é atribuída de forma crescente, e então calculada a soma as posições sem considerar o valor da posição referente a carta branca.

O peso não normalizado é o resultado da posição ou soma das posições dividido pelo número de cartas daquele *rank*. Por fim, a normalização é feita dividindo o peso não-normalizado pela soma das posições e em seguida, multiplicada por 100.

Tabela 17: Cálculo do peso pelo método de SIMOS convencional para o entrevistado 1

Agrupamento	Número de cartas	Posição	Peso (não normalizado)	Peso (normalizado)	Total
{c}	1	1	1	$(1/18) \times 100 = 5,556$	5,6
{e}	1	2	2	$(2/18) \times 100 = 11,111$	11,1
Carta branca	1	(3)	---	---	---
{d}	1	4	4	$(4/18) \times 100 = 22,222$	22,2
{b, a}	2	5, 6	$(5+6) / 2 = 5,5$	$(5,5/18) \times 100 = 30,556$	61,1
Sum	6	18	-		100,00

Na Tabela 17 é possível concluir que o critério ambiental e segurança receberam o mesmo peso de 30,6, sendo os critérios de maior importância. Seguido do critério técnico com peso de 22,2. O critério econômico com peso de 11,1 e por último o critério social com peso de 5,6, como sendo o de menor relevância.

Tabela 18: Cálculo do peso pelo método de SIMOS convencional para o entrevistado 2

Agrupamento	Número de cartas	Posição	Peso (não normalizado)	Peso (normalizado)	Total
{e}	1	1	1	$(1/17) \times 100 = 5,882$	5,9
{d}	1	2	2	$(2/17) \times 100 = 11,765$	11,8
{c}	1	3	3	$(3/17) \times 100 = 17,647$	17,6
Carta branca	1	(4)	--	--	---
{a}	1	5	5	$(5/17) \times 100 = 29,412$	29,4
{b}	1	6	6	$(6/17) \times 100 = 35,294$	35,3
Sum	6	17	-		100,00

Na Tabela 18 é possível concluir que o critério ambiental foi o de maior importância com peso de 35,3. Seguido do critério de segurança com peso de 29,4. O critério social com peso de 17,6, o critério técnico com peso de 11,8 e por último o critério econômico com peso de 5,9. Para este entrevistado não foram considerados critérios de mesma importância, ou seja, agrupados em um mesmo *rank*.

Tabela 19: Cálculo do peso pelo método de SIMOS convencional para o entrevistado 3

Agrupamento	Número de cartas	Posição	Peso (não normalizado)	Peso (normalizado)	Total
{e}	1	1	1	$(1/21) \times 100 = 4,762$	4,8
{d}	1	2	2	$(2/21) \times 100 = 9,524$	9,5
Carta branca	1	(3)	---	---	---
{c}, {a}	2	4, 5	4,5	$(4,5/21) \times 100 = 21,429$	42,9
Carta branca	1	(6)	---	---	---
Carta branca	1	(7)	---	---	---
Carta branca	1	(8)	---	---	---
{b}	1	9	9	$(9/21) \times 100 = 42,857$	42,857
Sum	9	21	-		100,00

Na Tabela 19 o critério ambiental foi o de maior importância com peso de 42,9. Seguido dos critérios social e segurança com peso de 21,4. O critério técnico com peso de 9,5 e por último o critério econômico com peso de 4,8, sendo o menos relevante.

CÁLCULO DOS PESOS PELO MÉTODO DE SIMOS REVISADO

A modificação do método Simos proposta por Roy e Figueira (1998) foi concebida por dois motivos:

- Obtenção de informações relativas entre a ponderação dos critérios menos importantes e mais importantes;
- Modificar as regras que regem o cálculo dos pesos.

O método revisado requer as mesmas informações básicas como requeridas do método original, porém requer informações adicionais a serem extraídas da pessoa questionada. Neste método, o decisor é questionado quantas vezes mais importante o primeiro critério ranqueado (ou grupo de critérios) é relativo ao último critério (ou grupo). Este valor é atribuído ao valor z. Esse valor nem sempre precisa ser estritamente definido. É importante, no entanto, mostrar como variações no valor de z afetariam as ponderações finais subsequentes (ROGERS; BRUEN; MAYSTRE, 2000).

- Cálculo do peso não normalizado

Sendo e'_r o número de cartas brancas que separam as classes r de $r+1$ do ranking. Os seguintes parâmetros são estimados:

$$e_r = e'_r + 1, \forall r = 1, \dots, \bar{n}-1$$

$$e = \sum_{r=1}^{\bar{n}-1} e_r$$

$$u = \frac{z - 1}{e}$$

Para o parâmetro u são considerados 6 casas decimais.

A partir disso, os pesos não normalizados serão calculados através da seguinte equação:

$$K(r) = 1 + u(e_0 + \dots + e_{r-1})$$

Como base nas formulações descritas acima para o cálculo do peso não normalizado, a Tabela 20, Tabela 21 e Tabela 22 ilustra o detalhamento para cada entrevistado. O *rank* das cartas e seu ordenamento foram idênticos ao abordado no método original.

Vale ressaltar que nesse trabalho foi adotado o parâmetro $z = 6,5$, logo: $u = 0,916666$.

Tabela 20: Cálculo do peso não normalizado pelo método revisado de SIMOS para o entrevistado 1

Rank (r)	Crítérios do rank r	Número de cartas brancas (e'r)	e_r	Peso (não normalizado) k_r	Total
1	c	0	1	1,00	1,00
2	e	0	1	1,92	1,92
3	Carta branca	1	2	2,83	2,83
4	d	0	1	4,67	4,67
5	b, a	0	1	5,58	11,17
Soma	6	1	6	...	21,58

Tabela 21: Cálculo do peso não normalizado pelo método revisado de SIMOS para o entrevistado 2

Rank (r)	Crítérios do rank r	Número de cartas brancas (e'r)	e_r	Peso (não normalizado) k_r	Total
1	e	0	1	1,00	1,00
2	d	0	1	1,92	1,92

3	c	0	1	2,83	2,83
4	Carta branca	1	2	3,75	3,75
5	a	0	1	5,58	5,58
6	b	0	1	6,50	6,50
Soma	6	1	7	...	21,58

Tabela 22: Cálculo do peso não normalizado pelo método revisado de SIMOS para o entrevistado 3

Rank (r)	Crítérios do rank r	Número de cartas brancas (e'r)	e _r	Peso (não normalizado) k _r	Total
1	e	0	1	1,00	1,00
2	d	0	1	1,92	1,92
3	Carta branca	1	2	2,83	2,83
4	c, a	0	1	4,67	9,33
5	Carta branca	1	2	5,58	5,58
6	Carta branca	1	2	7,42	7,42
7	Carta branca	1	2	9,25	9,25
8	b	0	1	11,08	11,08
Soma	9	4	12	...	48,42

A soma total do peso não normalizado é definida como K_i' . Portanto:

ENTREVISTADO	K_i'
1	21,58
2	21,58
3	48,42

- Cálculo do peso normalizado

Uma vez calculado o peso não normalizado de cada entrevistado, é possível determinar os seguintes parâmetros, K' e K_i^* :

$$K' = \sum_{i=1}^n K_i'$$

$$K_i^* = \frac{100}{K'} K_i'$$

Esses valores precisam ser corrigidos para 0, 1 ou 2 casas decimais, sendo w o número de casas decimais. Uma vez realizada a técnica de arredondamento, estima-se:

$$K'' = \sum_{i=1}^n K_i'' \leq 100$$

$$\epsilon = 100 - K'' \leq 10^{-w} \times n$$

Tabela 23: Cálculo do peso normalizado não corrigido para o entrevistado 1

Rank	Critérios	Nº de identificação do critério - N	Peso normalizado K_i^* (não arredondado)	Peso normalizado K_i'' , com $\omega = 1$ (não corrigido)
1	c	3	4,633204633	4,6
2	e	5	8,880308880	8,8
3	Carta branca	6	13,127413127	13,1
4	d	4	21,621621622	21,6
5	b	2	25,868725869	25,8
5	a	1	25,868725869	25,8
Sum	6	...	100	99,7

Tabela 24: Cálculo do peso normalizado não corrigido para o entrevistado 2

Rank	Critérios	Nº de identificação do critério - N	Peso normalizado K_i^* (não arredondado)	Peso normalizado K_i'' , com $\omega = 1$ (não corrigido)
1	e	5	4,633204633	4,6
2	d	4	8,880308880	8,8
3	c	3	13,127413127	13,1
4	Carta branca	6	17,374517375	17,3
5	a	1	25,868725869	25,8
6	b	2	30,115830116	30,1
Sum	6	...	100	99,7

Tabela 25: Cálculo do peso normalizado não corrigido para o entrevistado 3

Rank	Crítérios	Nº de identificação do critério - N	Peso normalizado K_i^* (não arredondado)	Peso normalizado K_i'' , com $\omega = 1$ (não corrigido)
1	e	5	2,065404475	2,0
2	d	4	3,958691910	3,9
3	Carta branca	6	5,851979346	5,8
4	c	3	9,638554217	9,6
4	a	1	9,638554217	9,6
5	Carta branca	7	11,531841652	11,5
6	Carta branca	8	15,318416523	15,3
7	Carta branca	9	19,104991394	19,1
8	b	2	22,89156627	22,8
Sum	9	...	100	99,6

Com base nas Tabela 23, Tabela 24 e Tabela 25 é possível estabelecer os valor de K'' e ϵ . Para o entrevistado 1 e 2, o valor de $K'' = 99,7$ e $\epsilon = 0,3$ e para o entrevistado 3 o valor de $K'' = 99,6$ e $\epsilon = 0,4$. O valor do erro é obtido pelo arredondamento que é feito de forma incorreta, portanto alguns procedimento serão feitos para correção dessa distorção.

Para que o procedimento de arredondamento cause o mínimo de distorção possível serão calculados d_i e \bar{d}_i para formar a lista L e \bar{L} . O d_i representa a disfunção relativa ao erro relativo, arredondado para cima, para o número inteiro mais próximo e \bar{d}_i representa a disfunção referente ao erro relativo, arredondado para baixo, para o número inteiro mais próximo.

$$d_i = \frac{10^{-w} - (k_i^* - k_i'')}{k_i^*}$$

$$\bar{d}_i = \frac{(k_i^* - k_i'')}{k_i^*}$$

Nas Tabela 26, Tabela 27 e Tabela 28 foram identificadas a relação d_i e \bar{d}_i de cada entrevistado, sendo uma etapa essencial para identificação do critérios que serão arredondados para cima e dos critérios que serão arredondados para baixo.

Tabela 26: Cálculo da relação d_i e \bar{d}_i para o entrevistado 1

Crítérios	Nº de identificação do critério - N	Relação d_i	Relação \bar{d}_i
c	3	0,014417	0,007167
e	5	0,002217	0,009043
Carta branca	6	0,005529	0,002088
d	4	0,003625	0,001000
b	2	0,001209	0,002657
a	1	0,001209	0,002657

Tabela 27: Cálculo da relação d_i e \bar{d}_i para o entrevistado 2

Crítérios	Nº de identificação do critério - N	Relação d_i	Relação \bar{d}_i
e	5	0,014417	0,007167
d	4	0,002217	0,009043
c	3	0,005529	0,002088
Carta branca	6	0,001467	0,004289
a	1	0,001209	0,002657
b	2	0,002795	0,000526

Tabela 28: Cálculo da relação d_i e \bar{d}_i para o entrevistado 3

Crítérios	Nº de identificação do critério - N	Relação d_i	Relação \bar{d}_i
e	5	0,016750	0,031667
d	4	0,010435	0,014826
Carta branca	6	0,008206	0,008882
c	3	0,006375	0,004000
a	1	0,006375	0,004000
Carta branca	7	0,005910	0,002761
Carta branca	8	0,005326	0,001202
Carta branca	9	0,004973	0,000261
b	2	0,000368	0,004000

Uma vez obtidas a relação d_i e \bar{d}_i serão encontrados os valores de m , na qual $d_i > \bar{d}_i$. Para o entrevistado 1 os critérios pertencentes a m são os de número de identificação 3, 6 e 4. Já para o entrevistado 2 os critérios pertencentes a m são os de número de identificação 5, 3 e 2 e por fim para o entrevistado 3 os critérios pertencentes a m são os de número de identificação 3, 1, 7, 8, 9 e 2.

Duas listas serão montadas com base nos dados obtidos de d_i e \bar{d}_i :

- A lista L é composta do conjunto (i, d_i) organizada em ordem crescente de valores d_i ;
- A lista \bar{L} é composta do conjunto (i, \bar{d}_i) , organizada em ordem decrescente de valores de \bar{d}_i .

Os n critérios da lista serão divididos em dois segmentos, F^- que serão os critérios que serão arredondados para baixo e F^+ com os critérios que serão arredondados para cima. Considerando v como um número inteiro e calculado da seguinte forma: $v = 10^w \times \epsilon$, essa divisão é realizada com base no seguinte procedimento determinado pelo método:

- 1º caso - se $(m + v) \leq n$, o conjunto F^- será formado pelos critérios de m , completando o conjunto com os últimos $(n - v - m)$ critérios pertencentes a \bar{L} e que não pertencem ao conjunto m . F^+ será formado com o/os v primeiros critérios de \bar{L} não pertencentes ao conjunto m .
- 2º caso - se $(m + v) > n$, o conjunto F^+ será formado com $(n - m)$ critérios de L que não pertencem a m , completando o conjunto com o/os primeiros $(v + m - n)$ critérios de L pertencentes a M . F^- será formado pelos últimos $n - v$ critérios de L não pertencentes ao conjunto m .

Analisando o entrevistado 1 é possível notar que ele se enquadra no 1º caso, ou seja, com $v = 3$, $m = 3$ e $n = 6$. Portanto, o conjunto F^- serão todos os pertencentes a m (3, 6 e 4), mais o conjunto $(n - v - m = 0)$ critérios que pertencem a \bar{L} e que não pertencem ao conjunto m . F^+ será formado com os 3 (v) primeiros critérios de \bar{L} não pertencentes ao conjunto m .

Tabela 29: Lista L e lista \bar{L} formadas através da relação d_i e \bar{d}_i para o entrevistado 1

Nº de identificação do critério - N	Relação d_i	Nº de identificação do critério - N	Relação \bar{d}_i
3(*)	0,014417	4(*)	0,00100
6(*)	0,005529	6(*)	0,00209
4(*)	0,003625	2	0,00266
5	0,002217	1	0,00266
2	0,001209	3(*)	0,00717
1	0,001209	5	0,00904

Portanto, o conjunto que pertence a $F^- = \{3, 6, 4\}$ e $F^+ = \{5, 2, 1\}$ (Tabela 29).

Seguindo a mesma análise descrita acima, o entrevistado 2 também se enquadra no 1º caso, com $v = 3$, $m = 3$ e $n = 6$. Portanto, o conjunto F^- serão todos os pertencentes a m (5, 3 e 2), mais o conjunto ($n - v - m = 0$) critérios que pertencem a \bar{L} e que não pertencem ao conjunto m . F^+ será formado com os 3 (v) primeiros critérios de \bar{L} não pertencentes ao conjunto m .

Tabela 30: Lista L e lista \bar{L} formadas através da relação d_i e \bar{d}_i para o entrevistado 2

Nº de identificação do critério - N	Relação d_i	Nº de identificação do critério - N	Relação \bar{d}_i
5(*)	0,014416667	2(*)	0,000525641
3(*)	0,005529412	3(*)	0,002088235
2(*)	0,002794872	1	0,002656716
4	0,002217391	6	0,004288889
6	0,001466667	5(*)	0,007166667
1	0,001208955	4	0,009043478

Portanto, o conjunto que pertence a $F^- = \{5, 3, 2\}$ e $F^+ = \{1, 6, 4\}$ (Tabela 30).

Por último, o entrevistado 3 com $v = 4$, $m = 5$ e $n = 9$ resultando no enquadramento do 1º caso. Entretanto, o conjunto F^- serão todos os pertencentes a m (3, 1, 7, 8 e 9), mais o conjunto ($n - v - m = 0$) critérios que pertencem a \bar{L} e que não pertencem ao conjunto m . F^+ será formado com os 4 (v) primeiros critérios de \bar{L} não pertencentes ao conjunto m .

Tabela 31: Lista L e lista \bar{L} formadas através da relação d_i e \bar{d}_i para o entrevistado 3

Nº de identificação do critério - N	Relação d_i	Nº de identificação do critério - N	Relação \bar{d}_i
5	0,016750000	9(*)	0,000261261
4	0,010434783	8(*)	0,001202247
6	0,008205882	7(*)	0,002761194
3(*)	0,006375000	3(*)	0,004000000
1(*)	0,006375000	1(*)	0,004000000

7(*)	0,005910448	2	0,004000000
8(*)	0,005325843	6	0,008882353
9(*)	0,004972973	4	0,014826087
2	0,000368421	5	0,031666667

Portanto, o conjunto que pertence a $F^- = \{3, 1, 7, 8, 9\}$ e $F^+ = \{2, 6, 4, 5\}$ (Tabela 31).

Com isso é possível estabelecer que os critérios do conjunto F^- serão arredondados para baixo, enquanto o grupo de critérios F^+ serão arredondados para cima. As Tabela 32, Tabela 33 e Tabela 34 apresenta os pesos normalizados e corrigidos referentes a cada critério e a cada entrevistado.

Tabela 32: Peso normalizado e corrigido do entrevistado 1

Rank	Critérios	Peso normalizado corrigido (K_i)
1	c	4,6
2	e	8,9
3	Carta branca	13,1
4	d	21,6
5	b	25,9
5	a	25,9

Tabela 33: Peso normalizado e corrigido do entrevistado 2

Rank	Critérios	Peso normalizado corrigido (K_i)
1	e	4,6
2	d	8,9
3	c	13,1
4	Carta branca	17,4
5	a	25,9
6	b	30,1

Tabela 34: Peso normalizado e corrigido do entrevistado 3

Rank	Crêterios	Peso normalizado corrigido (K _i)
1	e	2,1
2	d	4,0
3	Carta branca	5,9
4	c	9,6
4	a	9,6
5	Carta branca	11,5
6	Carta branca	15,3
7	Carta branca	19,1
8	b	22,9

Na tabela abaixo   possível obter a compila o do peso referente a cada critério de cada entrevistado, porém como a soma não   igual a 100 devido a dilui o dos valores com a inser o das cartas brancas, a normaliza o se torna uma etapa indispensável nesse processo.

Tabela 35: Compila o dos resultados referentes aos entrevistados e aos critérios

	Entrevistado 1	Entrevistado 2	Entrevistado 3
Segurança	25,9	25,9	9,6
Ambiental	25,9	30,1	22,9
Social	4,6	13,1	9,6
Técnico	21,6	8,9	4,0
Econômico	8,9	4,6	2,1
Soma	86,9	82,6	48,2

A Tabela 36 ilustra os pesos normalizados, ou seja, os cinco critérios abordados totalizando 100.

Tabela 36: Pesos dos critérios normalizados

	Entrevistado 1	Entrevistado 2	Entrevistado 3
Segurança	29,8	31,4	19,9
Ambiental	29,8	36,4	47,5
Social	5,3	15,9	19,9

Técnico	24,9	10,8	8,3
Econômico	10,2	5,6	4,4
Soma	100	100	100

Para uma aproximação de pesos dos entrevistados com relação aos critérios foi feita uma média dos valores, conforme representado na Tabela 37 abaixo.

Tabela 37: Média do peso dos critérios para os entrevistados

	Média
Segurança	27,0
Ambiental	37,9
Social	13,7
Técnico	14,6
Econômico	6,7

Os valores dos pesos calculados pelo método SIMOS aborda um dos cenários de pesos utilizados na análise de sensibilidade. Além desse cenário serão considerados mais dois cenários, considerando mesmo peso para os critérios (20% para cada) e mesmo peso entre os subcritérios (6,25%) (descrição dos maiores detalhes na próxima seção).

4.5 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade foi realizada baseada em duas vertentes, método de simulação Monte Carlo (distribuição triangular) e variando cenários de pesos. Por meio de uma análise de sensibilidade é possível determinar a robustez das soluções obtidas no processo decisório e identificar e avaliar as incertezas (J. BUTLER; J. DIA; J. DYER, 1997).

O primeiro cenário de pesos foi baseado no método revisado de SIMOS por meio de três especialistas no assunto, e assim determinado os pesos com relação ao grau de preferência de cada critério (Tabela 36 e Tabela 37).

O segundo cenário de pesos foi considerado todos os critérios com os mesmos pesos, e assim distribuído conforme o número de subcritérios (Tabela 38).

Tabela 38: Peso dos critérios e subcritérios atribuídos ao cenário 2

Critérios	Subcritérios	Peso	
Segurança	Risco para trabalhadores do mar	5.0	20
	Risco para outros usuários do mar	5.0	
	Risco para trabalhadores em terra	5.0	
	Risco para o público em terra	5.0	
Ambiental	Impacto sobre o ambiente marinho	2.9	20
	Impacto sobre o ambiente terrestre	2.9	
	Risco de disseminação de espécies invasoras	2.9	
	Geração de resíduos	2.9	
	Emissões	2.9	
	Risco de vazamento no ambiente marinho	2.9	
	Risco para o ambiente marinho a partir do legado in-situ	2.9	
Social	Impactos sociais em terra	6.7	20
	Impactos sobre a pesca	6.7	
	Impactos sobre o emprego	6.7	
Técnico	Impacto sobre a viabilidade técnica do projeto	20.0	20
Econômico	Custo do projeto	20.0	20

E por fim, o último cenário considerou-se todos os subcritérios de iguais importância, ou seja, pesos iguais (Tabela 39).

Tabela 39: Peso dos subcritérios atribuídos ao cenário 3

Critérios	Subcritérios	Peso
Segurança	Risco para trabalhadores do mar	6,25
	Risco para outros usuários do mar	6,25
	Risco para trabalhadores em terra	6,25
	Risco para o público em terra	6,25
Ambiental	Impacto sobre o ambiente marinho	6,25
	Impacto sobre o ambiente terrestre	6,25
	Risco de disseminação de espécies invasoras	6,25
	Geração de resíduos	6,25
	Emissões	6,25
	Risco de vazamento no ambiente marinho	6,25
	Risco para o ambiente marinho a partir do legado in-situ	6,25
Social	Impactos sociais em terra	6,25
	Impactos sobre a pesca	6,25
	Impactos sobre o emprego	6,25
Técnico	Impacto sobre a viabilidade técnica do projeto	6,25

Econômico	Custo do projeto	6,25
-----------	------------------	------

Como a análise determinística tem um conjunto de entradas conhecida e um resulta um único conjunto de saída, é relativamente difícil estabelecer quais as variáveis que afetam diretamente o resultado, a simulação Monte Carlo implica em uma melhor visualização dos dados que tem um efeito maior no resultado decisivo final.

4.5.1 Simulação Monte Carlo

O método Monte Carlo é utilizado em modelos que envolvem uma amostragem aleatória de uma distribuição probabilística. Enquanto os métodos tradicionais geram resultados determinísticos, o método Monte Carlo (METROPOLIS, 1987) aparece como opção para solução desse tipo de problema, uma vez que, é capaz de gerar conjunto de resultados e suas respectivas ocorrências.

4.5.2 Distribuição triangular

A distribuição triangular é um dos tipos de distribuição existentes utilizada na simulação Monte Carlo. Ao usar distribuições de probabilidade, as variáveis podem apresentar diferentes possibilidades de ocorrência e conseqüentemente, diferentes resultados. Na distribuição triangular, as distribuições de probabilidade representam uma forma muito mais realista de descrever incerteza em variáveis de análises de risco.

Para este estudo foram gerados variáveis aleatórias utilizando distribuição triangulares. Na probabilidade e estatística a distribuição triangular possui um valor mínimo (a), máximo (b) e um valor mais provável (c) (DORP; KOTZ, 2002). Para cada critério e subcritério adotado foram calculados os valores mais provável referente a cada alternativa, os valores máximo e mínimo foram calculados variando parâmetros dos cálculos.

Para os subcritérios ambientais uma forma de estabelecer as variações (mais ou menos) foi alterando o número de pessoas requeridas e na duração das atividades, uma vez que a taxa de fatalidade anual é um dado fixo. Este procedimento foi feito para cada alternativa de descomissionamento e para cada subcritério. Um exemplo do que foi realizado se encontra na Tabela 40.

Tabela 40: Modelo de cálculo da sensibilidade realizada para o subcritério ambiental

	ALTERNATIVA DE DESCOMISSIONAMENTO		
Atividades	Número de pessoas requeridas	Duração da atividade (horas)	PLL (Potencial de perda de vida)
ATIVIDADE 1	15	720	6,10E-04
ATIVIDADE 2	12	648	4,20E-04
ATIVIDADE 3	8	1080	2,69E-04
ATIVIDADE N	5	720	8,87E-05
PLL final			1,39E-03
Riscos para trabalhadores do mar	Riscos para outros usuários do mar	Riscos para os trabalhadores em terra	Riscos para o público em terra
5,08E-04	0	8,79E-04	0

Para os subcritérios ambientais, todos calculados de forma qualitativa (impacto no ambiente marinho ou terrestre e disseminação de espécies invasoras), ou seja, atribuídos em forma de notas, foram consideradas uma nota superior para o máximo, e para o mínimo uma nota inferior.

O subcritério relativo ao risco de vazamentos no ambiente marinho e risco para o ambiente a partir do legado *in-situ* como são expressos através de matriz, a nota final referente ao cenário máximo e mínimo será relativo ao da célula de maior ou menor valor do cenário mais provável.

O subcritério ambiental de geração de resíduos foi calculado com base nas alternativas estudadas, para o abandono foi considerado zero (nenhuma remoção) e para as alternativas de remoção do duto foi calculado o peso da linha em função da quilometragem. E por fim, o subcritério emissões foi calculado para o máximo um percentual de 75% sobre o valor do cenário mais provável e para o mínimo 50% do valor do cenário mais provável.

Vale ressaltar que as estimativas dos parâmetros de sensibilidade referentes aos cálculos dos mínimos e máximos foram feitas de forma subjetiva por parte do decisor, cabendo uma análise futuras de melhores maneiras de serem abordadas.

A formulação utilizada no Excel representando a distribuição triangular utilizada para as simulações foi:

$$= \text{MÁX} + (\text{MÍN} + \text{ALEATÓRIO} () * (\text{MAIS PROVÁVEL} - \text{MÍN}) - \text{MÁXIMO}) * \text{RAIZ} (\text{ALEATÓRIO} ())$$

A formulação descrita acima foi feita para todos os subcritérios, como base nos valores máximo, mais provável e mínimo calculados (Tabela 41).

Tabela 41: Matriz referente ao resultado dos cenários adotados para realização da distribuição triangular

		Segurança				Ambiental							Social			Técnico	Econômico
Mais provável	Opção 1	5,08E-04	0,00E+00	8,79E-04	0,00E+00	13,7	2,0	0,0	13.881,7	6,6	9	4	5,3	720,0	110,6	9	1.715.000
	Opção 2	6,82E-04	1,69E-03	1,37E-03	0,00E+00	24,2	2,7	0,0	18.740,2	6,6	9	4	8,0	1.008.000,0	70,8	23	2.155.000
	Opção 3	5,97E-03	3,19E-04	3,71E-03	1,65E-03	36,5	4,6	342,0	27.763,3	7,3	12	2	24,7	26.020.800,0	53,7	28	19.790.000
	Opção 4	5,35E-03	0,00E+00	2,73E-03	2,07E-04	32,7	4,2	342,0	24.292,9	7,3	12	2	17,5	20.016.000,0	77,1	27	9.540.000
Máximo	Opção 1	9,66E-04	0,00E+00	1,62E-03	0,00E+00	29,2	5,8	0,0	20.822,5	10,0	12	8	13,8	2.560,0	112,3	16	4.230.000
	Opção 2	1,38E-03	3,80E-03	2,84E-03	0,00E+00	49,3	7,0	0,0	28.110,3	10,0	12	8	18,0	3.880.960,0	81,1	28	5.467.500
	Opção 3	1,70E-02	9,57E-04	9,81E-03	4,57E-03	73,2	9,3	513,0	41.645,0	10,5	12	4	41,5	144.153.600,0	52,1	35	44.355.000
	Opção 4	8,31E-03	0,00E+00	4,10E-03	3,51E-04	73,2	9,3	513,0	36.439,3	10,5	12	4	37,5	120.128.000,0	81,1	32	25.650.000
Mínimo	Opção 1	1,28E-04	0,00E+00	2,10E-04	0,00E+00	7,5	1,0	0,0	10.411,2	4,9	6	2	2,9	220,0	140,4	8	904.500
	Opção 2	1,81E-04	4,22E-04	3,26E-04	0,00E+00	11,5	1,0	0,0	14.055,2	4,9	6	2	3,3	241.600,0	68,1	17	1.028.250
	Opção 3	1,64E-03	6,79E-05	1,02E-03	5,89E-04	18,0	2,3	256,5	20.822,5	5,3	9	1	11,4	5.253.500,0	52,1	21	10.304.500
	Opção 4	1,57E-03	0,00E+00	7,56E-04	6,48E-05	15,3	2,0	256,5	18.219,7	5,3	9,0	1,0	7,7	3.752.500,0	76,0	20	4.320.000

*Os valores de 1 a 16 da tabela são referentes aos subcritérios adotados, conforme a Tabela 39.

*Opção 1 - abandono total, Opção 2 - abandono com deposição de rochas na extremidade do duto, Opção 3 - S-lay reverso e Opção 4 – corte e elevação de seções.

Uma vez determinado o tipo de distribuição a ser adotada para simulação Monte Carlo, torna-se essencial encontrar o número de simulações necessárias para que a simulação atinja o ponto de convergência, ou seja, o número total de simulações em que a mudança de valor não irá influenciar o valor decisivo final.

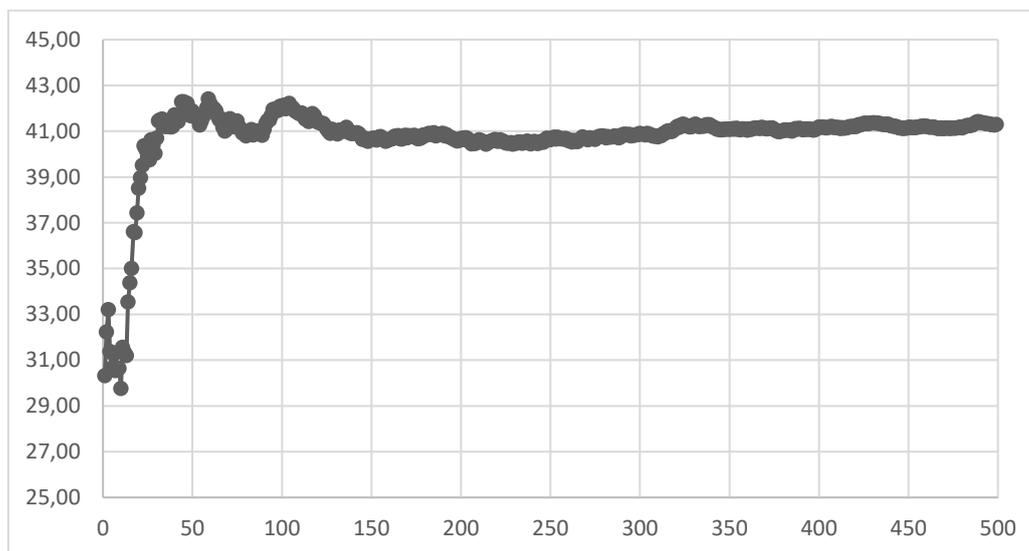


Figura 20: Exemplo do número de simulações necessárias para atingir a convergência

O procedimento de determinação do número de simulações necessárias para convergência foi realizado para todos os subcritérios, em seguida usados para entrada no programa Visual PROMETHEE. Conforme ilustrado na Figura 20 o valor de convergência se aproximou de 200 simulações, foi utilizado como parâmetro fixo para obtenção do resultado.

Na Figura 21 é possível identificar as principais etapas a serem preenchidas para a entrada do programa utilizado, lembrando que foram realizados 200 preenchimentos para cada cenário estudado, totalizando 600 simulações.

As funções utilizadas foram escolhidas com base no perfil de cada subcritério estudado. Os valores de p e q utilizados para simulação foram calculados com base no documento “*Preference functions and thresholds*” elaborado por (MARESCHAL, 2018), e então definido p como a média entre o maior e menor valor e q correspondendo a um terço da média. Ressaltando que, nem todas as funções utilizam p e q como dados de entrada, podem utilizar um dos dois ou nenhum.

	<input checked="" type="checkbox"/>															
Cenário 1	Risco para o...	Risco para o...	Risco para o...	Risco para o...	Impacto sob...	Impacto sob...	Geração de r...	Emissões	Risco de diss...	Riscos de va...	Riscos para ...	Impactos so...	Impactos so...	Impactos so...	Impactos so...	Custo do pro...
Unit	PLL	PLL	PLL	PLL	Nota	Nota	ton	ton de CO2-eq	Nota	Nota	Nota	Nota	Km2-ano-pesca	Emprego-ano	Nota	\$
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences																
Min/Max	min	max	min	min												
Weight	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25
Preference Fn.	V-shape	V-shape	V-shape	V-shape	Usual	Usual	Linear	Linear	Usual	Usual	Usual	Usual	Linear	Usual	Usual	Linear
Thresholds	absolute															
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	57,00	6940,00	n/a	n/a	n/a	n/a	4340000,00	n/a	n/a	4040000,00
- P: Preference	0,00299000	0,00299000	0,00299000	0,00299000	n/a	n/a	171,00	20800,00	n/a	n/a	n/a	n/a	13000000,00	n/a	n/a	12100000,00
- S: Gaussian	n/a															
Statistics																
Minimum	0,00049900	0,00000000	0,00132000	0,00000000	20,30	3,25	0,00	10600,00	5,08	6,50	1,56	8,05	1630,00	52,80	12,90	1800000,00
Maximum	0,00688000	0,00128000	0,00290000	0,00559000	62,90	6,52	445,00	35000,00	9,02	11,70	5,26	28,10	87100000,00	112,00	27,00	22600000,00
Average	0,00270600	0,00043600	0,00182500	0,00144250	41,58	4,99	201,00	23875,00	7,21	8,95	3,53	14,64	35956907,50	78,47	20,55	9637500,00
Standard Dev.	0,00255065	0,00052281	0,00063488	0,00239569	20,64	1,49	203,29	9109,71	1,44	2,41	1,69	8,07	37253658,51	21,51	5,14	8530780,66
Evaluations																
<input checked="" type="checkbox"/> ABAND. TOTAL	0,00077500	0,00000000	0,00140000	0,00000000	20,30	3,25	0,00	10600,00	5,08	6,50	5,26	8,05	1630,00	112,00	12,90	1800000,00
<input checked="" type="checkbox"/> ABAND. C/ROC...	0,00049900	0,00128000	0,00132000	0,00000000	21,60	3,77	0,00	21100,00	7,83	6,61	5,15	8,73	726000,00	70,30	19,60	2150000,00
<input checked="" type="checkbox"/> CORTE E ELEVA...	0,00688000	0,00046400	0,00290000	0,00559000	61,50	6,42	445,00	35000,00	6,89	11,00	2,15	28,10	56000000,00	52,80	27,00	22600000,00
<input checked="" type="checkbox"/> S-LAY REVERSO	0,00267000	0,00000000	0,00168000	0,00018000	62,90	6,52	359,00	28800,00	9,02	11,70	1,56	13,70	87100000,00	78,80	22,70	12000000,00

Figura 21: Exemplo do software VISUAL PROMETHEE utilizado para a simulação e como os dados são inseridos

*Na linha referente ao cenário 1 estão listados todos os subcritérios, totalizando os 16 subcritérios considerados no estudo.

*Min/Max: minimizar ou maximizar o critério.

*Weight: pesos referentes a cada subcritério.

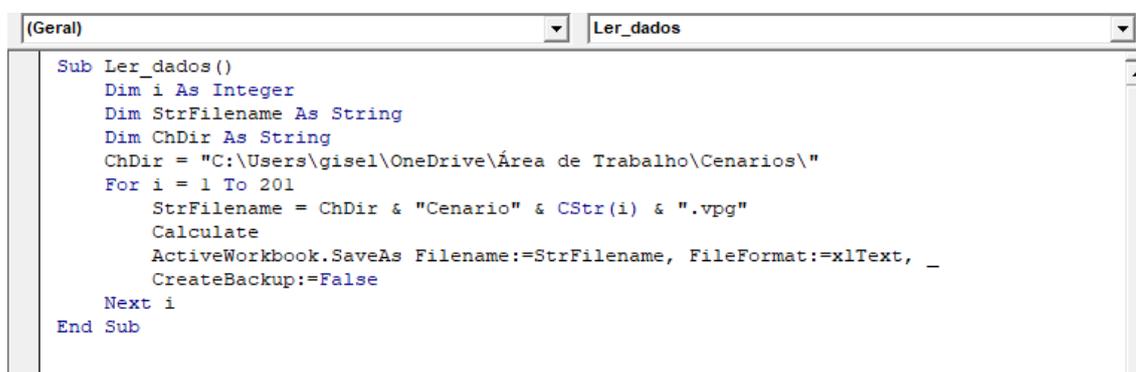
*Preference Fn.: Funções de preferência atribuída a cada subcritério.

*Thresholds: informações a respeito dos limiares de preferência e indiferença: absoluto ou percentual. Dependendo do tipo de função de preferência atribuída, os valores de p e q deverão ser preenchidos. Sendo, p limiar de preferência e q limiar de indiferença.

*Evaluations: Alternativas de remoção adotadas para o estudo.

5. RESULTADOS

Para obtenção dos resultados das simulações referentes a cada cenário foi elaborada uma planilha Excel MACRO (Figura 22), na qual fosse criado dados de saída já no formato referente aos de leitura pelo *Visual PROMETHEE*.



```
Sub Ler_dados()  
    Dim i As Integer  
    Dim StrFilename As String  
    Dim ChDir As String  
    ChDir = "C:\Users\gisel\OneDrive\Área de Trabalho\Cenarios\  
    For i = 1 To 201  
        StrFilename = ChDir & "Cenario" & CStr(i) & ".vpg"  
        Calculate  
        ActiveWorkbook.SaveAs Filename:=StrFilename, FileFormat:=xlText, _  
        CreateBackup:=False  
    Next i  
End Sub
```

Figura 22: MACRO elaborada para otimização dos resultados

A pesquisa elaborada teve dados quantitativos e qualitativos (transformados de faixas para notas) para obtenção do cálculo da nota final por alternativa. Com base nos dados da matriz de decisão e usados como entrada no software Visual Promethee, o diagrama de caixas permite uma visualização adequada do resultado das simulações para o problema proposto. Através da plotagem deste recurso gráfico foi possível detectar *outliers* e comparar a relação entre diferentes alternativas (Figura 23).

Os valores utilizados para construção do diagrama de caixas foram os fluxos de preferência Phi (Φ – fluxo líquido) obtido do Visual Promethee, sendo calculados para consolidar os resultados das comparações pareadas das ações e classificá-las da melhor para pior.

A primeira análise pode ser realizada com base na distribuição simétrica dos dados, observando a linha central do retângulo (mediana), sendo o valor que divide um conjunto de valores em partes iguais. Quando a linha da mediana está próxima ao primeiro quartil (linha superior), os dados são assimétricos positivos e quando a posição da linha da mediana é próxima ao terceiro quartil (linha inferior), os dados são assimétricos negativos. Para a solução obtida, nota-se uma mediana bem definida para a maioria dos cenários e suas respectivas alternativas, com exceção da opção de corte e elevação para o cenário de critérios com pesos iguais que obteve uma mediana assimétrica negativa.

A segunda análise é feita com base na altura de cada caixa, ou seja, quanto maior a variabilidade dos dados, maior será a sua altura. Esta análise poderá ser realizada por dois vieses, o primeiro seria comparando as diferentes alternativas, isto é, a alternativa que tiver seus dados mais bem definidos/interpretados menor seria a altura da caixa. O segundo viés é uma análise lateral entre as mesmas alternativas, porém com diferentes cenários de pesos.

Embora 50% dos valores se concentrem no retângulo, os limites inferiores e superiores podem indicar o momento em que uma alternativa passa a ser preferível em relação a outra. Por exemplo, na análise feita para o Método SIMOS (primeira coluna), a alternativa de corte e elevação em algumas simulações poderá ser melhor que a alternativa *S-lay* reverso. Porém, vale considerar que isso corresponde a um número mínimo quando comparada ao número total de simulações. Esse tipo de avaliação pode ser considerado com uma das mais relevantes, pois é capaz de ilustrar a variabilidade dos dados em que uma alternativa passa a ter preferência com relação a outra.

A terceira análise pode ser com base no intervalo interquartil, ou seja, na diferença entre o terceiro e o primeiro quartil (tamanho da caixa). Esta avaliação é relevante pois envolve uma estatística mais robusta para medir a variabilidade uma vez que não sofre importância dos *outliers*.

Por fim, a última análise pode ser realizada com base nos *outliers* e valores extremos, sendo valores atípicos presente numa amostragem e que impactam em distorções e conclusões inválidas. Considerando que para cada diagrama de caixa foram consideradas 200 simulações, o maior número de *outliers* detectado foram apenas três (abandono com deposição de rochas no cenário de critérios com pesos iguais). Isso nos permite uma validação de um número de *outliers* relativamente insignificante.

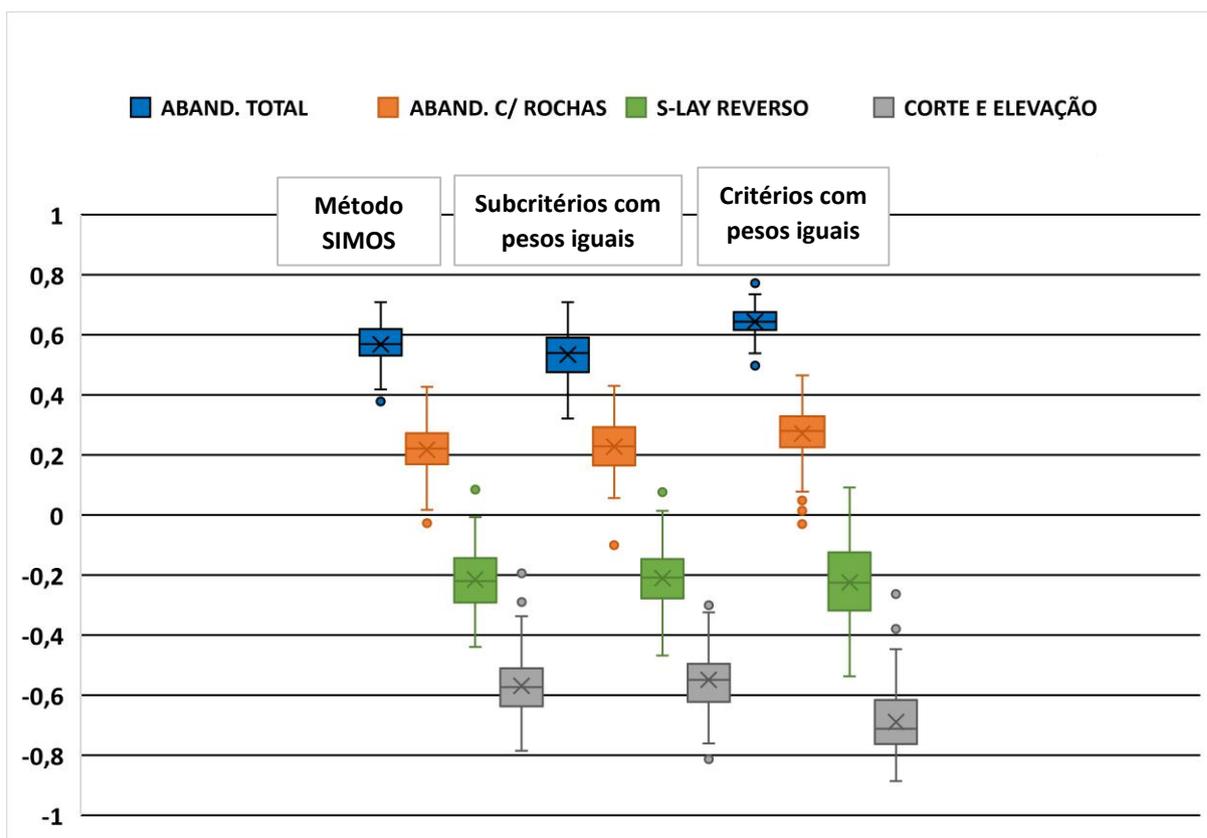


Figura 23: Diagrama de caixa com o resultado da simulação

No desenvolvimento de uma análise de descomissionamento, os dados de entrada de um determinado critério e subcritério são um dos aspectos mais importantes quanto a qualidade da metodologia aplicada. Há uma série de procedimentos para aplicação durante o processo, portando irá depender de uma série de análises para chegar ao resultado de melhor solução para cada equipamento, respeitando todas as particularidades envolvidas no projeto.

De forma resumida, o diagrama de caixa permite o decisor visualizar que independente do cenário de pesos estudado a solução sempre estará voltada para o abandono total da estrutura no leito do mar. Seguida da opção de abandono com deposição de rochas nas extremidades do duto, *S-lay* reverso e por último corte e elevação de seções.

Os resultados sugerem que esta metodologia fornece de forma eficiente uma estrutura de decisão multicritérios, auxiliando no processo de tomada de decisão. Esses resultados fornecem uma nova maneira de abordar a eficiência e o desempenho durante a proposta

de um projeto de descomissionamento de equipamentos submarinos. A escolha da técnica é resultado da melhor adequação em meio às condições específicas e os resultados que dela serão esperados.

6. CONCLUSÃO

Considerando as perspectivas do cenário offshore no Brasil, é possível concluir que o descomissionamento dos equipamentos submarinos retrata um desafio nos próximos anos, principalmente quando envolve a desativação de campos com lâminas d'águas cada vez mais profundas. O descomissionamento de tais estruturas tem exigido, por parte das operadoras, a mesma responsabilidade envolvida durante o comissionamento das instalações, considerando todos os riscos e seus potenciais impactos.

Embora o descomissionamento seja uma atividade relativamente nova, o país busca guias práticos e recomendações de operações já realizadas no exterior e fazem adaptações, mesmo se tratando de cenários comparativamente distintos. A definição dos critérios e subcritérios trazem uma série de desafios, portanto a elaboração de guias voltados para a realidade brasileira facilitaria a aplicabilidade de todo o processo.

Apesar da variedade de métodos existentes, há uma tendência de utilizar metodologias mais simples em aplicações do mundo real, de fato muitas técnicas já vêm sendo utilizadas em problemas de descomissionamento, como análise comparativa (CA), AHP (*Analytic Hierarchy Process*), SAW (*Simple Additive Weighting*), entre outras, porém sempre haverá uma preferência por metodologias claras e fáceis de serem manipuladas.

Embora não existem aplicações do PROMETHEE para o descomissionamento no setor de óleo e gás, é um método utilizado no setor de energia. Se destaca quando comparado aos outros métodos pela sua facilidade de entendimento e manipulação dos dados e resultados, além de permitir analisar os resultados de forma visual e gráfica.

Através das análises dos dados do duto rígido estudado, foi possível estimar que a melhor solução sempre será abandono sem nenhum tipo de intervenção, sendo esta alternativa relativa ao risco operacional iminente a todo ciclo de remoção de uma estrutura rígida operando a mais de 30 anos. Essa solução foi confirmada pela análise de sensibilidade realizada pela simulação Monte Carlo, na qual foi possível considerar todos os aspectos relacionados as incertezas dos dados obtidos.

Para fundamentar esta discussão, foram apresentados os principais elementos técnicos e alternativas aplicáveis no contexto estudado. Foram detalhadas as questões específicas para desmobilização de dutos, técnicas disponíveis, recursos utilizados e condições comuns

de operação. Apresentou-se também o panorama institucional, além do envolvimento de diversos entes governamentais, como o Ibama, a Marinha e o Ministério do Trabalho.

A obtenção dos dados foi um dos aspectos mais difíceis de serem levantados, uma vez que a incerteza e ausência de informações é um fator presente em muitos cenários de descomissionamento atuais. Da mesma forma para os pesos, embora existam diferentes metodologias para sua aplicação, no âmbito do descomissionamento ainda será um assunto que precisará ser muito discutido.

Sobre as questões ambientais, o detalhamento do panorama da pesca na região poderia gerar informações mais adequadas aos tomadores de decisão. A importância da quantificação dos materiais presentes nos dutos junto a capacidade de reciclagem, recebimento e reutilização quando pensada na capacidade logística reversa.

Outra questão, como fim da vida útil não sendo a única motivação possível para retirá-los, e sim como aspectos como a economicidade, término do período de concessão, fatores técnicos e ambientais etc.

Quanto ao aspecto econômico, não foram encontrados dados específicos sobre os custos de descomissionamento no país, portando a busca de valores melhores definidos ajudaria na construção de uma curva de custos mais sólidas.

Cabe ressaltar, por fim, as restrições e simplificações do estudo realizado. Elas constituem oportunidades para trabalhos futuros, de forma a melhorar e complementar o que foi abordado nesta dissertação.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGUIAR, R. A. **Estudo do Impacto da Ampliação de Berço e de Área de Pátio no Aumento da Capacidade Operacional de uma Base de Apoio Offshore.** [s.l.] Universidade Federal do Espírito Santo, 2013.

AHIAGA-DAGBUI, D. D. et al. Costing and technological challenges of offshore oil and gas decommissioning in the U.K. North Sea. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 143, n. 7, 2017.

ALMEIDA, A. T. DE. **Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério.** [s.l.] Editora Atlas SA, 2000.

ALMEIDA, E. et al. Regulação do descomissionamento e seus impactos para a competitividade do upstream no Brasil. **Ciclo de Debates sobre Petróleo e Economia**, p. 62, 2017.

ANP. Relatório Seminário sobre Aumento do Fator de Recuperação no Brasil. 2017.

BENAYOUN, R.; ROY, B.; SUSSMAN, B. ELECTRE: Une méthode pour guider le choix en présence de points de vue multiples. **Note de travail**, v. 49, 1966.

BENEDITO, J. et al. A Petrobrás e a exploração de Petróleo Offshore no Brasil : um approach evolucionário. p. 95–109, 2007.

BRANS, J. P.; VINCKE, P. Note—A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making). **Management science**, v. 31, n. 6, p. 647–656, 1985.

BRANS, P. **L'ingénierie de la décision. Elaboration d'instruments d'aide à la décision.** [s.l.] Colloque d'aide à la décision. Université Laval, 1982.

BRASIL., Agência Nacional De Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. PORTARIA Nº 25, de 6 de março de 2002. Aprova o Regulamento de Abandono de Poços perfurados com vistas a exploração ou produção de petróleo e/ou gás. Publicada no DOU de 07 de março de 2002.

BRASIL., Agência Nacional De Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. RESOLUÇÃO Nº 27, de 18 de outubro de 2006. Dispõe sobre o Regulamento Técnico que define os procedimentos a serem adotados na Desativação de Instalações e específica condições

para Devolução de Áreas de Concessão na Fase de Produção. Publicada no DOU de 19 de outubro de 2006.

BRASIL., Agência Nacional De Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. RESOLUÇÃO Nº 25, de 09 de Abril de 2014. Aprova o Regulamento Técnico devolução das Áreas na Fase de Exploração. Publicada no DOU de 25 de Abril de 2014. (ANP - 25/2014)

BRASIL., Agência Nacional De Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. RESOLUÇÃO Nº 41, de 09 de outubro de 2015. Aprova o Regulamento Técnico do Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional de Sistemas Submarinos - SGSS. Publicada no DOU de 13 de outubro de 2015.

BRASIL., Conselho Nacional do Meio Ambiental. RESOLUÇÃO CONAMA Nº 23, de 7 de dezembro de 1994. Institui procedimentos específicos para o licenciamento de atividades relacionadas à exploração e lavra de jazidas de combustíveis líquidos e gás natural. Publicada no DOU nº 248, de 30 de dezembro de 1994.

BRASIL., Conselho Nacional do Meio Ambiente. RESOLUÇÃO CONAMA Nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. Publicada no DOU nº 247, de 22 de dezembro de 1997.

CLAISSE, J. T. et al. Impacts from Partial Removal of Decommissioned Oil and Gas Platforms on Fish Biomass and Production on the Remaining Platform Structure and Surrounding Shell Mounds. **PLOS ONE**, v. 10, n. 9, 2015.

DNV-GL. JIP - Guidelines for Risk-Based Comparative Assessment of Options for Decommissioning of Subsea Installations in Brazil. n. 116C9AFX-9, p. 135, 2018.

DORP, V.; KOTZ, S. A novel extension of the triangular distribution. p. 63–79, 2002.

EDWARDS, W. et al. Multiattribute evaluation. **Sage Publications**, p. 96p., 1982.

FAZENDA, M.; SOCIAL, I. N. D. S.; PREVIDÊNCIA, E. D. T. E. I. DA. **Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho**. Brasília: [s.n.].

FERGESTAD, D.; LØTVEIT, S. A. **Handbook on Design and Operation of Flexible Pipes**. [s.l: s.n.]. v. 1

FISHBURN, P. Conjoint measurement in utility theory with incomplete product sets.

Journal of Mathematical Psychology, v. 4, n. 1, p. 104–119, 1967.

FOWLER, A. M. et al. A multi-criteria decision approach to decommissioning of offshore oil and gas infrastructure. **Ocean and Coastal Management**, v. 87, p. 20–29, 2014.

GOMES, L. F. A. M., GOMES, C. F. S., ALMEIDA, A. T. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. [s.l.: s.n.].

GRECO, S.; FIGUEIRA, J.; EHRGOTT, M. **MULTIPLE CRITERIA DECISION ANALYSIS - State of the art - Surveys**. New York, NY: [s.n.].

HAMZAH, B. A. International rules on decommissioning of offshore installations: some observations. **Marine Policy**, v. 27, n. 4, p. 339–348, 2003.

HWANG, C.; YOON, K. **Multiple Attribute Decision Making. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems**. Berlin, Heidelberg: Springer, 1981. v. 186

IRAWAN, C. A.; WALL, G.; JONES, D. An optimisation model for scheduling the decommissioning of an offshore wind farm. **OR Spectrum**, v. 41, n. 2, p. 513–548, 2019.

ISM. **Submarine Dismantling Project - Operational Effectiveness (OE) Report - interim version to support the Submarine Dismantling Consultation**. [s.l.: s.n.].

J. BUTLER; J. DIA; J. DYER. Simulation techniques for the sensitivity analysis of multi-criteria decision models. **European Journal of Operational Research**, v. 103, n. 3, p. 531–545, 1997.

LUCZYNSKI, E. **Os Condicionantes Para O Abandono Das Plataformas Offshore Após O Encerramento Da Produção**. [s.l.: s.n.].

MANAGO, F.; WILLIAMSON, B. **Decommissioning and Removal of Oil and Gas Facilities Offshore California: Recent Experiences and Future Deepwater Challenges**. [s.l.: s.n.]. v. 23

MARESCHAL, B. **Preference functions and thresholds**. [s.l.: s.n.].

MARTINS, C. F. **O descomissionamento de estruturas de produção offshore no brasil**. [s.l.] Universidade Federal do Espírito Santo, 2015.

MATTOS, D. H. DE. Estudo do Comportamento de Dutos Rígidos Durante a Instalação em Águas Profundas. p. 91, 2012.

METROPOLIS, N. THE BEGINNING of the MONTE CARLO METHOD. **Journal of Clinical Microbiology**, n. 1, p. 125–130, 1987.

MOURA, R. **Extensão de vida útil e Descomissionamento no Brasil**. 2019

OIL AND GAS UK. Decomissioning of Pipelines in the North Sea Region 2013. **Oil & Gas UK - The voice of the offshore industry**, v. 7, n. 5, p. 1–44, 2013.

OLIVEIRA, R. DE; VALENTE, A.; ALBERTO, C. Comparação entre métodos de análise de sensibilidade , empregados na tomada de decisão com a avaliação multicriterial Comparison between sensibility analysis methods , used in the decision-making process through the multicriteria evaluation. v. 37, p. 197–211, 2009.

PHILIP, N. S. et al. **Decommissioning process for subsea pipelines**. Society of Petroleum Engineers - 30th Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, ADIPEC 2014: Challenges and Opportunities for the Next 30 Years. **Anais...2014**Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84994079388&partnerID=40&md5=407e0e157ec71e6c10164086940edf50>>

PRADO, D. **DESMOBILIZAÇÃO DE DUTOS EM SISTEMAS MARÍTIMOS DE PRODUÇÃO DE PETRÓLEO - UMA PROPOSTA DE MÉTODO DE SUPORTE AO PLANEJAMENTO**. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.

ROGERS, M.; BRUEN, M.; MAYSTRE, L.-Y. **ELECTRE and Decision Support**. [s.l.: s.n.].

ROY, B. **Multicriteria methodology for decision aiding, volume 12 of nonconvex optimization and its applications**Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, , 1996.

RUIVO, F. M. **Descomissionamento de Sistemas de Produção Offshore**. Campinas: UNICAMP, 2001.

SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation**. New York, NY: McGraw-Hill International Book Company, 1980.

SALGADO, A.; AZEVEDO, D. **“CORROSÃO NAS ESTRUTURAS METÁLICAS DE TUBOS FLEXÍVEIS UTILIZADOS PARA EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO OFFSHORE”**. [s.l.] Universidade Federal Fluminense, 2016.

SANTOS, L. F. **DESCOMISSIONAMENTO DE SISTEMAS OFFSHORE**.

TÉCNICAS, POTÊNCIAIS PROBLEMAS E RISCOS RELACIONADOS AO FINAL DA VIDA PRODUTIVA. [s.l.] Univeridade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

SEO, H.; SOHN, W. Annals of Nuclear Energy Scenario options to calculation of Derived Concentration Guideline Levels for a multi-unit decommissioning site. **Annals of Nuclear Energy**, v. 133, p. 347–358, 2019.

SHANIAN, A. et al. A new application of ELECTRE III and revised Simos' procedure for group material selection under weighting uncertainty. **Knowledge-Based Systems**, v. 21, n. 7, p. 709–720, 2008.

SHELL U. K. LIMITED. **Brent Field Decommissioning: Comparative Assessment Procedure.** [s.l: s.n.].

SISKOS, E.; TSOTSOLAS, N. Elicitation of criteria importance weights through the Simos method: A robustness concern. **European Journal of Operational Research**, v. 246, n. 2, p. 543–553, 2015.

SMYTH, K. et al. Renewables-to-reefs? - Decommissioning options for the offshore wind power industry. **Marine Pollution Bulletin**, v. 90, n. 1–2, p. 247–258, 2015.

SOMMER, B. et al. Science of the Total Environment Decommissioning of offshore oil and gas structures – Environmental opportunities and challenges. **Science of the Total Environment**, v. 658, p. 973–981, 2019.

SUH, Y. A.; HORNIBROOK, C.; YIM, M.-S. Decisions on nuclear decommissioning strategies: Historical review. **Progress in Nuclear Energy**, v. 106, p. 34–43, 2018.

TEIXEIRA, B. M. **Aprimoramento da política pública ambiental da cadeia produtiva de óleo e gás offshore no Brasil: o descomissionamento das tecnologias de exploração.** [s.l.] Universidade estadual do Rio de Janeiro, 2013.

TOPHAM, E. et al. Recycling offshore wind farms at decommissioning stage. **Energy Policy**, v. 129, n. September 2018, p. 698–709, 2019.

VINCKE, P. **Multicriteria decision-aid.** Bruxelles: Wiley Online Library, 1992.