

# USO DA ABORDAGEM DA MANUTENÇÃO BASEADA EM RISCO NOS MOTORES HIDRÁULICOS DE ROV DA MARINHA DO BRASIL

IGOR DE SOUZA PINTO\*  
Engenheiro de Produção

NÉLIO ROCHA JÚNIOR\*\*  
Engenheiro de Produção

PAULO APICELO DE SOUZA PEREIRA\*\*\*  
Professor

VICTORIA TELLES VENTURA  
BARILLO FERNANDES\*\*\*\*  
Pesquisadora

---

## SUMÁRIO

Introdução  
Metodologia  
Descrição do ROV  
Fundamentos teóricos  
Estudo de caso  
Análise dos resultados e discussões  
Considerações Finais

## INTRODUÇÃO

A indústria do petróleo e gás é um setor estratégico para o Brasil, e as atividades de exploração, perfuração e produção de poços de petróleo são

apoiadas também pelos mergulhadores para dar suporte às operações, porém, atualmente, é comum termos lâminas d'águas superiores a 300 m, o que inviabiliza a operação com aqueles. Assim, para altas profundidades, pode-se

---

\* Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas Computacionais pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Estagiário do Laboratório de Empreendimento e Inovação (LEI) da UFF.

\*\* Graduado pela Faculdade Professor Miguel Ângelo da Silva Santos (FeMASS), Macaé (RJ). Possui *expertise* em suporte técnico *offshore* para sistemas ROV, tendo participado de diversas campanhas de instalação e mobilização de equipamentos submarinos para a Petrobras.

\*\*\* Mestre e doutor em Engenharia Oceânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe-UFRJ). Professor e pesquisador do Instituto de Ciência e Tecnologia da UFF. Trabalhou, de 2009 a 2014, como engenheiro de Tecnologia Militar na Coordenadoria-Geral do Programa de Desenvolvimento de Submarino com Propulsão Nuclear (Cogesn).

\*\*\*\* Graduanda em Engenharia Naval pela UFRJ. Estagiária na Baker Hughes do Brasil e pesquisadora na área de Engenharia Submarina no Laboratório de Tecnologia Submarina da Coppe/UFRJ.

contar com o ROV (Remotely Operated Vehicle), desenvolvido para possibilitar a extração de petróleo e gás nessas novas fronteiras. Entre 1950 e 1960, a Royal Navy e a US Navy desenvolveram os primeiros ROV para missões reais (não para pesquisa), no intuito de recuperar artefatos militares perdidos em profundidades da ordem de 500 m de lâmina d'água (LDA).

O presente estudo se baseia na realidade de uma empresa de ROV, tendo como referência o departamento técnico de empresa em Macaé (RJ), responsável pela gerência de manutenção de todos esses equipamentos no Brasil. Ela é fornecedora global de produtos e serviços de engenharia para o setor *offshore* da indústria de óleo e gás, com foco em aplicações em águas profundas. No Brasil, é especializada em ROV e suas ferramentas, prestando serviços de instalação e inspeção desde 1979 para a Petrobras. Atualmente, é o maior operador de ROV de classe de trabalho do mundo.

A manutenção de equipamentos e a confiabilidade dos sistemas são importantes fatores que afetam a capacidade das organizações de fornecerem serviços de qualidade a seus clientes.

Este trabalho analisou as falhas e os custos relacionados à manutenção de equipamentos de ROV. Foi aplicada a teoria da Manutenção Baseada em Risco (MBR) em um equipamento de ROV, estabelecendo a possível melhoria da disponibilidade do veículo para operação.

A fim de garantir maior detalhamento e precisão das informações, além de otimizar a utilização do tempo disponível, esta pesquisa se delimitou à análise de indicadores de manutenção do tipo probabilidade e consequências das falhas, por meio das informações coletadas no setor de manutenção.

Assim, foi possível, por meio da aplicação da metodologia de MBR, efetuar um planejamento de manutenção e de tomada de decisão, reduzindo a probabilidade de falhas dos equipamentos e as suas consequências. O programa de manutenção resultante melhorou a disponibilidade do equipamento e buscou reduzir o custo.

No contexto da Marinha do Brasil, Pereira e Ribeiro (2024) publicaram na *Revista Marítima Brasileira (RMB)*, janeiro/março 2024) a aplicação da manutenção centrada em confiabilidade nos ROV dos seguintes meios navais:

– Navio de Socorro Submarino (NSS) *Guilobel* (K120), embarcação de apoio *offshore* capaz de realizar operações de resgate submarino para apoiar o Programa de Modernização de Submarinos (Prosub); e

– Navio de Pesquisa Hidroceanográfico (NPqHo) *Vital de Oliveira* (H39), usado para executar levantamentos hidroceanográficos, realizar coleta de dados ambientais e apoiar pesquisas científicas em áreas marítimas de interesse, além de apoiar tarefas afetas aos auxílios à navegação, a fim de contribuir para o cumprimento das atividades relacionadas à Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN).

Portanto, a proposta deste artigo é apresentar a aplicação da metodologia de Manutenção Baseada em Risco nos ROV destes meios navais supracitados, de forma a contribuir com a melhoria efetiva da gestão de manutenção da frota da Marinha brasileira, sempre sujeita aos orçamentos cada vez mais restritos da União.

## METODOLOGIA

A coleta dos dados foi realizada por meio das informações cedidas pela empresa de ROV. Trata-se de uma pesquisa

exploratória, um estudo de caso, qualitativo e quantitativo, pois busca mostrar a redução de custos do setor de manutenção por meio da análise de dados para a obtenção dos resultados.

Conforme Yin (2001), a investigação deve ser gerida por um projeto de pesquisa que objetiva vincular os dados empíricos às questões iniciais do estudo de forma lógica, o que permitirá chegar, em última análise, às suas conclusões.

Esta pesquisa pode ser classificada como uma razão de ordem prática. Segundo Gil (2002), as pesquisas podem ser diferenciadas entre ordem intelectual e prática, em que a intelectual desenvolve um conhecimento para si, e a prática produz um conhecimento mais eficaz.

A análise documental da pesquisa exploratória foi realizada por meio de planilhas do setor e estratificação de dados da planilha de manutenção, a fim de verificar os custos e equipamentos com mais entradas e mais reparados. Foram avaliados os

dados de dez anos, de forma quantitativa e qualitativa, e, em seguida, foi escolhido um equipamento para ser desenvolvida a análise de falhas FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), a fim de se identificarem as funções a serem cumpridas pela unidade, seus modos de falha e os respectivos efeitos. A partir dos dados levantados e das características desse equipamento, tornou-se possível o desenvolvimento da metodologia de MBR.

Foi realizado também o levantamento bibliográfico, a fim de explorar o que outros autores relatam sobre o tema, relacionando com o estudo de caso selecionado.

## DESCRIÇÃO DO ROV

Hoje em dia, a exploração do petróleo ocorre, principalmente, em águas profundas, e, devido a esse cenário, o ROV tornou-se ferramenta imprescindível nesse mercado, por se tratar de um submarino não tripulado, que atinge altas profundidades (até 6 mil metros).

Sousa (2023) publicou na *RMB* que os veículos submarinos podem ser:

- Tripulados: de pesquisa e militares.
- Não tripulados: rebocados, operados remotamente (ROV), semiautônomos e autônomos.

Este artigo focará nos ROV, que, segundo Carminatto, Ciongoli e Sabundjian (2021), fazem parte de um grupo de tecnologias cada vez mais utilizadas como ferramenta em pesquisas científicas. A aplicabilidade dos ROV

é ampla e abrange os mais diversos mercados mundiais, e a escolha do equipamento ideal está diretamente relacionada à eficiência de sua utilização nos

mais variados ambientes a que possam ser expostos. Da exploração dos oceanos a investigações de estruturas subaquáticas, passando por estudos geológicos e operações militares, os ROV exercem um importante papel dentro de cada possibilidade apresentada e são ferramentas cada vez mais aplicadas e valorizadas pelas indústrias comercial e governamental e nas áreas nuclear, militar e acadêmica.

O ROV é subdividido em cinco classes básicas, conforme a Oceaneering (2016):

- Classe 1: veículos de observação simples;
- Classe 2: veículos de observação e intervenção (transporte) simples;

### **A exploração do petróleo em águas profundas fez do ROV ferramenta imprescindível**

– Classe 3: veículos de aplicação geral (*work class* e *construction class*);

– Classe 4: veículos de elevada capacidade de tração, focando a abertura de valas, enterramento de cabos e dutos submarinos (alguns *construction class*); e

– Classe 5: veículos autônomos (AUV), de pesquisa ou aplicação militar.

Nesse estudo serão abordados apenas dados de ROV da classe 3, que apresentam as seguintes características principais:

– profundidade máxima de operação: até 6.000 m de lâmina de água;

– equipamentos embarcados: câmeras de vídeo, luminárias, sensores de navegação, manipuladores hidráulicos de sete e cinco graus de liberdade, sistemas de inspeção submarina e END;

– sistema de gerenciamento do umbilical: TMS, gaiola e *free-swimming*;

– principais aplicações: suporte às operações de lançamento e instalação submarina; e

– operações de perfuração, inspeção, manutenção, operação e intervenção submarina.

São diversos equipamentos mobilizados na embarcação que possibilitam a operação

do ROV, e os principais componentes do sistema de ROV, conforme a Figura 1, são: cabine de controle (*control van*), sistema de lançamento (LARS), umbilical ou cabo armado, gaiola, *tether*, veículo (ROV), cabine de manutenção (*work van*) e guincho.

Para o perfeito funcionamento do ROV, são necessários diversos equipamentos:

– motor gerador ou gerador diesel: possui disjuntores, chaves e medidores;

– cabine de controle e manutenção: possui disjuntores, monitores, sistemas de controle, contatoras, transformadores, sensores etc.;

– sistemas de fibra ótica;

– sistemas de lançamento: possui *A-frame*, *docking head*, curso guiado por cabos ou trilhos, guincho, HPU e *level wind*;

– umbilical (cabo armado); e

– ROV e gaiola: possuem flutuador, sonar, câmeras, motor elétrico, motor hidráulico, *slip ring*, filtros, pan e tilt, blocos de válvulas, ferramentas, sistema de iluminação, dispositivos de gravação de vídeo, bússola, profundímetro, transdutor de pressão, bomba hidráulica, *thruster*, *tether*, manipuladores, compensadores, cabos, *transponder*, DVL, INS e APU.

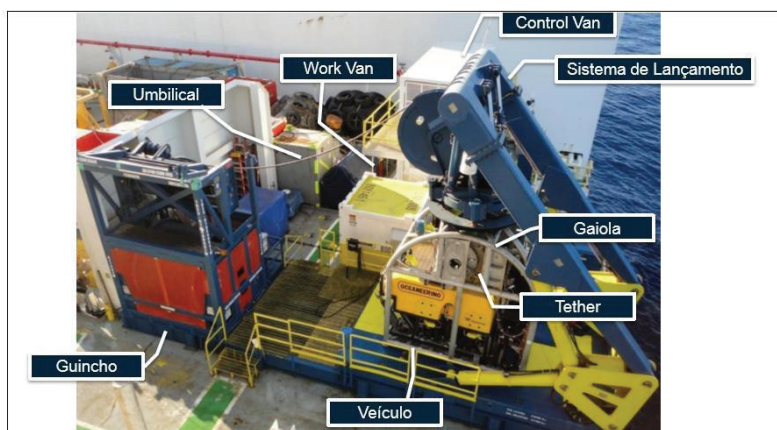


Figura 1 – Componentes de sistemas de ROV  
Fonte: Oceaneering (2016)

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### *Manutenção Baseada em Risco (MBR)*

#### *Manutenção de equipamentos*

Moubray (1997) apresenta a ideia de que ativos físicos, como equipamentos, são colocados em funcionamento quando alguém deseja que alguma função ou grupo de funções específico seja realizado. Assim, a manutenção garante que ativos físicos continuem realizando as funções desejadas pelos seus usuários.

Segundo a norma brasileira NBR 5462-1994, manutenção é definida como a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

É do conhecimento da comunidade técnica que as empresas praticam as manutenções corretivas, preventivas, preditivas, centrada em confiabilidade (MCC), baseada em condição (CBM) e, além destes tipos citados, a Manutenção Baseada em Risco (MBR), que se destaca neste trabalho. Em resumo, a MBR usa uma metodologia de avaliação de risco para atribuir seus escassos recursos de manutenção àqueles ativos que carregam o maior risco em caso de falhas.

A NBR/ISO 31.000 (ABNT, 2009) define risco como o efeito da incerteza nos objetivos. De acordo com a norma, um efeito é considerado um desvio em relação ao esperado, podendo ser positivo ou negativo. Já os objetivos podem ter diferentes aspectos e podem ser aplicados em diferentes níveis, como estratégico, projetos ou processos. Portanto, o risco pode estar presente nos processos de planejamento, o que amplia a visão de que são apenas relacionados a danos físicos em pessoas ou equipamentos/ativos.

A MBR sugere um conjunto de recomendações sobre quantas tarefas preventivas (tipo e frequência) são necessárias. Cabe lembrar que risco = probabilidade x consequência. O valor quantitativo do risco é a base para a priorização das atividades de inspeção e manutenção (KHAN e HADDARA, 2003).

De acordo com Sakai (2010), a MBR foi introduzida inicialmente nos setores de engenharia química e campos de refino de petróleo, porém sua aplicação já foi expandida para processos de construção naval, energia elétrica e fabricação de aço. As etapas que compõem a metodologia MBR são ilustradas na Figura 2.

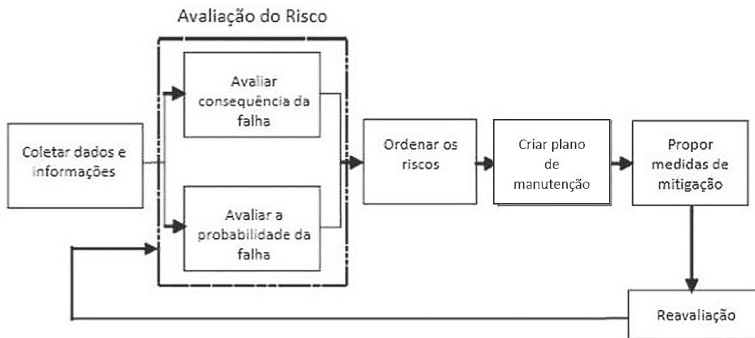


Figura 2 – Metodologia da MBR  
Fonte: Sakay (2010)

Khan e Haddara (2004) propõem que a aplicação dessa metodologia visa reduzir o risco global que pode resultar como consequência de falhas inesperadas de instalações operacionais.

Segundo Sakai (2010) e Khan e Haddara (2004), o resultado da MBR é a elaboração do plano de manutenção e sugestões de mitigação do risco. Para definição do plano MBR, é necessário escolher o objeto de estudo e delimitar as fronteiras do sistema. Além disso, é preciso analisar individualmente cada equipamento e identificar os cenários de falha, assim como as relações físicas, operacionais e lógicas entre os componentes.

É importante conhecer o funcionamento dos ativos estudados para que nenhum item deixe de ser avaliado para não gerar um plano de manutenção equivocado. Além disso, é muito importante uma quantificação dos riscos.

A avaliação do risco começa com a identificação de grandes perigos potenciais (principais eventos) aos quais cada cenário de falha pode levar. Uma árvore de falhas é usada para identificar os eventos básicos e os caminhos intermediários que levam ao evento superior. Os dados de falha para os eventos básicos de um subsistema são usados para estimar a respectiva probabilidade de falha (KHAN e HADDARA, 2004).

Após toda essa análise, os componentes identificados críticos são estudados com mais detalhes para redução de riscos por meio de um planejamento ótimo de manutenção.

A literatura sobre a MBR é restrita, ao contrário da IBR – Inspeção Baseada em Risco, bem difundida mundialmente. Quando se fala em MBR aplicada à área industrial, encontram-se algumas poucas referências, mais voltadas para a área de engenharia submarina. Há raros trabalhos que poderão ser citados.

Carvalho (2017) fez um estudo de aplicação da metodologia da MBR em uma bomba centrífuga de injeção de curso, em um trabalho de conclusão de graduação, e concluiu que, ao focar nas falhas que ocorriam mais vezes, a disponibilidade geral da bomba aumentou.

Pereira e Oliveira (2022) fizeram uma proposta de implantação da MBR em uma empresa de comércio e distribuição de combustíveis nacional. Foram consultados os dados da análise FMEA de uma empresa similar, para identificar os modos de falhas principais dos componentes do tanque de armazenamento, e, a partir deles, foram calculados os riscos, considerando-se as pessoas, o patrimônio, as perdas financeiras, o meio ambiente e a operacionalidade dos equipamentos. O critério de aceitação de risco foi definido, e propostas de manutenções foram feitas visando manter o risco geral do equipamento envolvido dentro do aceitável.

Ao tratar do estudo de falhas e gestão de riscos, Pereira (2023) estudou a aplicação da MBR em equipamentos submarinos, que pode ser inserida na política de manutenção dos ROV. Ele ampliou os conhecimentos relacionados à importância de existir um plano de manutenção, com escolha certa de qual tipo de manutenção executar em determinado momento e quais benefícios serão adquiridos pela empresa ao implementar a MBR.

### *Matriz de Risco*

A norma API 581 (2000) aplicada à Inspeção Baseada em Risco é constituída por uma metodologia simplificada para determinar que tipo de evento pode ocorrer (consequência) quando um equipamento falhar, e quão provável (probabilidade) é esse evento acontecer.

A probabilidade de falha é avaliada levando-se em consideração os mecanismos de danos atuantes e suas taxas, conjugados à capacidade dos planos de inspeção de detectá-los e medir corretamente a sua extensão.

Para a definição da probabilidade de falha, o documento API 581(2000) não considera a probabilidade de falha instantânea, mas sim a frequência de falha anual, corrigida por dois fatores: um referente ao equipamento e o outro ao gerenciamento do risco, tratado na unidade industrial. O conceito de risco vem sendo bastante utilizado no setor de inspeção de equipamentos e está baseado na união das variáveis de probabilidade de falha e na consequência da falha.

Segundo a API 581 (2000), o risco é apresentado por meio de uma matriz denominada Matriz de Risco, de acordo com a Figura 3. Isso permite a fácil verificação da contribuição relativa de ambos os fatores envolvidos (frequência e consequência).

**FTA e o FMEA**

A árvore de falhas (FTA – Fault-Tree Analysis) é considerada um método de

análise de produtos e processos que permite uma avaliação sistemática e padronizada de possíveis falhas, estabelecendo suas consequências e orientando a adoção de medidas preventivas ou corretivas (HELMAN e ANDERY, 1995).

O desenho da árvore de falhas parte de um evento de topo, que é a falha principal a ser analisada. Esse defeito principal é desdobrado em demais falhas (eventos básicos), que, em conjunto ou individualmente, podem causar o evento de topo e, conseqüentemente, ocasionar a falha do sistema. Esse tipo de procedimento, em que há o desdobramento da falha de cima para baixo, é conhecido como *top-down*.

Segundo Sakurada (2001), a relação entre modo de falha e efeito, se bem controlada, pode ser uma grande ajuda na decisão dos processos de manutenção a serem adotados para um equipamento. Um aspecto mais complexo dessa relação é que diferentes modos de falha podem se manifestar da mesma maneira, ou seja, apresentam o mesmo efeito. Essa complexidade toma-se ainda mais evidente quando há associação de um item a outro em casos de análises maiores.

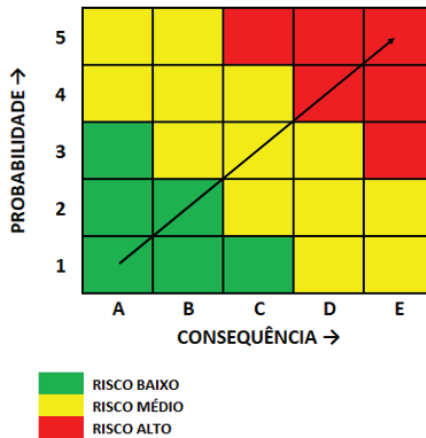


Figura 3 – Matriz de Risco  
 Fonte: API 581 (2000)

Para os modos de falha identificados no decorrer do estudo FMEA, são avaliados aspectos como severidade, detectabilidade e frequência de ocorrência. O estudo do FMEA precisa ser constantemente revisado, procurando atualizar informações sobre a descoberta de novos modos ou causas de falhas, correção de dados de efeitos, acompanhamento das técnicas implementadas, reconsiderações de severidade, frequências ou detectabilidade (SILVA, 2007).

## ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado com dados do departamento técnico de empresa que faz manutenção de equipamentos e suporte técnico a operações com ROV. Por meio das informações coletadas no setor, foi possível analisar e levantar informações importantes sobre processo de manutenção de equipamentos.

Na Tabela 1, apresenta-se a lista dos 14 equipamentos que mais deram entrada no setor de manutenção, que, de um total de

Equipamentos Desembarcados	Quantidade
1 - Câmeras	388
2 - Motores	386
3 - Placas	344
4 - Placas PCB	285
5 - Cilindros	239
6 - Ferramentas	216
7 - Transpônder	210
8 - Bombas	203
9 - Light	153
10 - Slip Ring	137
11 - Válvulas	106
12 - Manipuladores	106
13 - Sonar e Acessórios	65
14 - Monitores	96

Tabela 1 – Lista de equipamentos  
Fonte: Autores (2021)

4.254 registros gerais, representam 2.934 unidades, ou seja, 69% do total.

Após entender os equipamentos que mais deram entrada no setor de manutenção, é importante entender o risco que cada um oferece ao sistema de ROV; portanto, será aplicada a matriz de risco aos dez equipamentos que mais deram entrada no setor de manutenção, representando 87% dos mais “problemáticos”.

### *Matriz de risco do estudo de caso*

Para elaborar a matriz de risco dos equipamentos, é necessário lembrar que risco é igual ao produto da probabilidade vezes a consequência (ou severidade); portanto, é necessário atribuir os valores da probabilidade e da consequência para cada equipamento.

A atribuição da probabilidade de falhas será considerada de 1 a 10, de acordo com a ordem dos equipamentos com mais entradas; logo, a probabilidade atribuída é apresentada na Tabela 2.

Equipamentos Desembarcados	Probabilidade
1 - Câmeras	10
2 - Motores	9
3 - Placas	8
4 - Placas PCB	7
5 - Cilindros	6
6 - Ferramentas	5
7 - Transpônder	4
8 - Bombas	3
9 - Light	2
10 - Slip Ring	1

Tabela 2 – Atribuição de probabilidade  
Fonte: Autores (2021)

Consequência	Descrição dos critérios de impacto dos riscos	Nota
Muito Baixo	Consequências pouco significativas	0 a 2
Baixo	Consequências reversíveis em curto/médio prazo, com custos pouco significativos	2 a 4
Moderado	Consequências reversíveis em curto/médio prazo, com custos baixos	4 a 6
Alto	Consequências reversíveis em curto/médio prazo, com custos altos	6 a 8
Alto Extremo	Consequências irreversíveis e/ou custos inviáveis	8 a 10

Tabela 3 – Descrição e possíveis notas das consequências  
Fonte: Autores (2021)

Equipamentos Desembarcados	Consequência
1 - Câmeras	5
2 - Motores	10
3 - Placas	6
4 - Placas PCB	8
5 - Cilindros	10
6 - Ferramentas	5
7 - Transpônder	5
8 - Bombas	10
9 - Light	2
10 - Slip Ring	10

Tabela 4 – Atribuição de consequência  
Fonte: Autores (2021)

A atribuição da consequência foi efetuada conforme a Tabela 4, com base na descrição da Tabela 3.

Segundo os operadores, supervisores e engenheiros de operação e manutenção da empresa, entre os quais um dos autores deste artigo, a explicação para as consequências atribuídas é devida a:

– Câmeras: as câmeras são equipamentos de extrema importância para o ROV, porém a perda de uma câmera não causa grandes impactos na operação.

– Motores: a perda de um motor pode causar grande impacto nas operações.

– Placas: algumas placas podem causar perda de telemetria do ROV, porém a queima de uma placa, na maior parte das vezes, não causa grande impacto na operação.

– Placas PCB: algumas placas podem causar perda de telemetria do ROV, porém a queima de uma placa, na maior parte das vezes, não causa grande impacto na operação.

– Cilindros: o dano em um cilindro pode causar grande impacto na operação e grandes danos no ROV.

– Ferramentas: a falha em uma ferramenta pode impactar a operação, porém pode ser rapidamente substituída, sem muito impacto na operação.

– *Transponder*: são importantes, porém as suas falhas não causam grande impacto nas operações.

– Bombas: a perda de um motor pode causar grande impacto na operação e grandes danos no ROV.

– *Light*: lâmpadas são importantes, porém as suas falhas não causam grande impacto nas operações.

– *Slip Ring*: a falha deste pode causar grande impacto na operação e grandes danos ao ROV.

Conforme os critérios estabelecidos anteriormente, foi possível elaborar o nível de risco de cada equipamento conforme a Tabela 5:

IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE RISCOS - EQUIPAMENTOS				
EQUIPAMENTO	MATRIZ DE RISCOS			
	CONSEQUÊNCIA	PROBABILIDADE	C x P	NÍVEL DE RISCO
1 - Câmeras	5	10	50	Alto
2 - Motores	10	9	90	Alto Extremo
3 - Placas	6	8	48	Alto
4 - Placas PCB	8	7	56	Alto
5 - Cilindros	10	6	60	Alto
6 - Ferramentas	5	5	25	Médio
7 - Transpônder	5	4	20	Médio
8 - Bombas	10	3	30	Médio
9 - Light	2	2	4	Baixo
10 - Slip Ring	10	1	10	Médio

Tabela 5 – Nível dos riscos (Consequência x Probabilidade)  
 Fonte: Autores (2021)

### Análise da matriz de risco

Conforme apresentado na Tabela 5, pode-se perceber que os motores são os equipamentos com maior risco para o ROV, como está apresentado na matriz de risco da Figura 4.

Conforme verificado na matriz de risco, o equipamento que apresenta maior risco está na categoria dos motores. Os principais motores utilizados pelo ROV são:

– motores hidráulicos, que são comumente usados nos *thrusters* e são responsáveis pela propulsão do sistema, como os apresentados na Figura 5; e

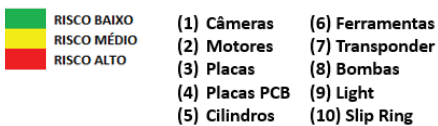
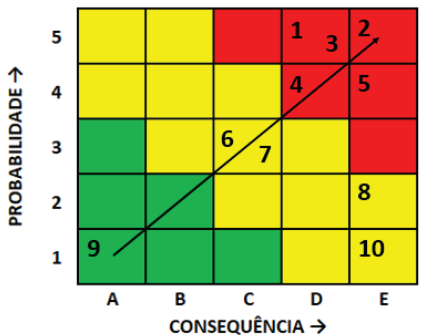


Figura 4 – Matriz de risco

Fonte: API 581 (2000), adaptada pelos autores



Figura 5 – Motores hidráulicos  
 Fonte: Oceaneering (2016)

– motores elétricos, que podem ser usados no sistema de propulsão, como mostrado na Figura 6, e também utilizados na HPU (unidade hidráulica de potência) e APU (unidade auxiliar de potência), entre outros.



Figura 6 – Motores elétricos  
 Fonte: Oceaneering (2016)

As pesquisas de identificação de falhas em máquinas elétricas rotativas focam nos motores de indução trifásicos, pois são maioria das aplicações industriais. As falhas de rolamento são frequentemente encontradas na indústria e relatadas na

**Distribuição de Falhas em Motores de Indução**

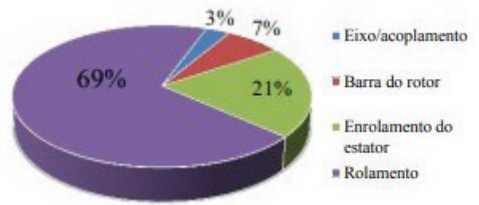


Figura 7 – Falhas em motores elétricos de indução  
 Fonte: Belline (2008)

literatura, conforme Figura 7, entretanto o foco do trabalho é em análise de falhas em motores hidráulicos.

**ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Para atender ao propósito do trabalho, deve haver um tratamento das falhas a partir da FTA e FMEA, para se propor, em seguida, um plano de manutenção que inclua intervenções de modo a diminuir a probabilidade de ocorrência, sendo isto mais complicado que alterar as consequências.

A Figura 8 foi desenvolvida em consulta aos especialistas da área na empresa, que incluía um dos autores, e apresenta um esquema dos tipos de falhas que podem ocorrer em motores hidráulicos.

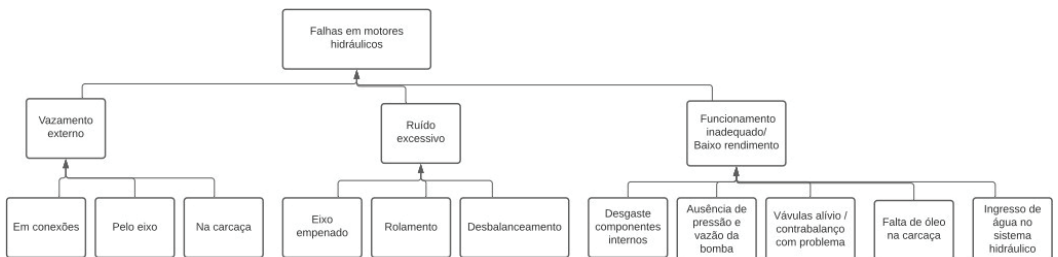


Figura 8 – Falhas em motores hidráulicos  
 Fonte: Autores (2021)

Segundo a Rexroth (2018), 80% de todos os problemas hidráulicos podem ser atribuídos à contaminação do óleo, e o restante aos componentes. O controle da pureza do óleo é, portanto, o fator mais importante para evitar paradas de funcionamento.

Foram introduzidas diversas atividades no plano de manutenção relacionado a controle do fluido, vazamentos e inspeção de rolamentos, entre outras atividades, para atestar o baixo rendimento dos motores.

Com a aplicação da MBR, um plano de manutenção novo e adequado propõe a redução da probabilidade de ocorrer falha nos motores hidráulicos. Quanto mais efetivo for o plano, menor será o risco, podendo chegar à condição ideal, que seria a probabilidade de ocorrências igual a zero, porém o custo de implantação e a viabilidade técnica não possibilitariam tal ação.

O que é possível de se fazer com a MBR é reduzir a probabilidade de falhas, deixando o seu risco na categoria baixa ou média, de acordo com a política de aceitação da empresa, ver Figura 9.

Por meio das análises de falhas em

consulta aos especialistas da área, foi possível criar uma sugestão de plano de manutenção para falhas na vedação que podem contaminar o fluido hidráulico, conforme Figura 10.

Para as falhas de funcionamento inadequado e baixo

rendimento nos motores hidráulicos, tem-se o plano da Figura 11.

Com a aplicação da MBR, por meio da melhoria do *check-list* de inspeção e manutenção preventiva na base e antes do embarque do ROV no navio, com a execução das atividades expostas no plano de manutenção acima, é possível reduzir frequência de falhas em 80% (multiplicando por (1-0,8) ou 0,2), conforme estudos da

**Com a aplicação da MBR,  
 um plano de manutenção  
 novo e adequado propõe a  
 redução da probabilidade  
 de ocorrer falha nos  
 motores hidráulicos**

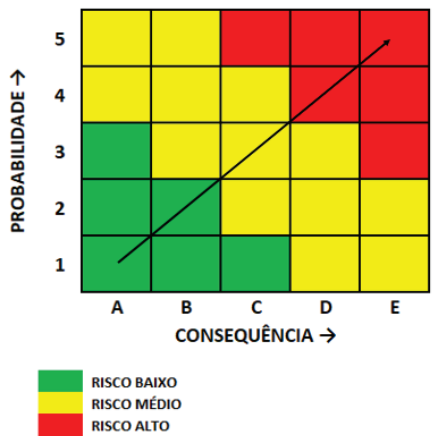


Figura 9 – Matriz de risco  
 Fonte: Autores (2021)

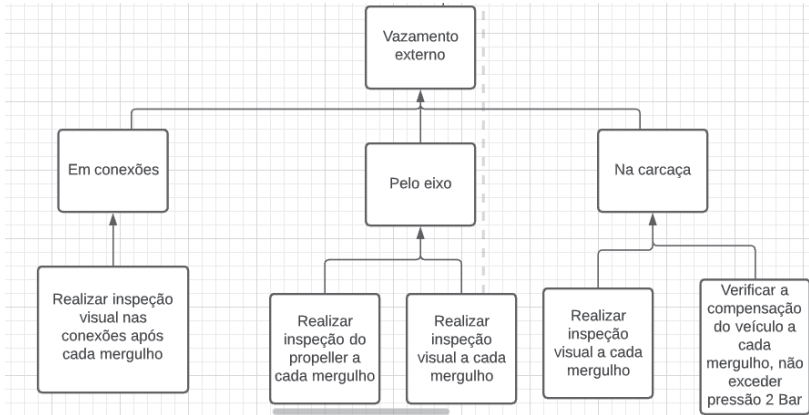


Figura 10 – Plano de manutenção para falhas na vedação  
Fonte: Autores (2021)

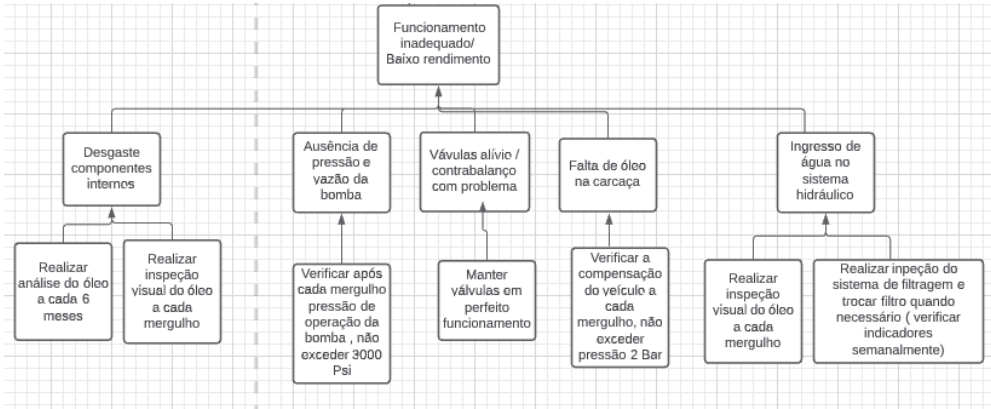


Figura 11 – Plano de manutenção para falhas de baixo rendimento  
Fonte: Autores (2021)

Rexroth (2018). Com isso, tem-se para os motores uma nova classificação de riscos, conforme Figura 12.

Podemos observar que, com tarefas simples a serem incluídas no plano de manutenção, é possível diminuir o nível de risco dos motores de 90 (extremo alto) para 18 (médio).

IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE RISCOS - EQUIPAMENTOS				
EQUIPAMENTO	MATRIZ DE RISCOS			
	CONSEQUÊNCIA	PROBABILIDADE	C x P	NÍVEL DE RISCO
Motores (Antes)	10	9	90	Alto Extremo
Motores (Depois)	10	1,8	18	Médio

Figura 12 – Nível de risco dos motores hidráulicos antes e depois da MBR  
Fonte: Autores (2021)

IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE RISCOS - EQUIPAMENTOS				
EQUIPAMENTO	MATRIZ DE RISCOS			
	CONSEQUÊNCIA	PROBABILIDADE	C x P	NÍVEL DE RISCO
1 - Câmeras	5	10	50	Alto
2 - Motores	10	9	90	Alto Extremo
3 - Placas	6	8	48	Alto
4 - Placas PCB	8	7	56	Alto
5 - Cilindros	10	6	60	Alto
6 - Ferramentas	5	5	25	Médio
7 - Transpônder	5	4	20	Médio
8 - Bombas	10	3	30	Médio
9 - Light	2	2	4	Baixo
10 - Slip Ring	10	1	10	Médio

Figura 13 – Classificação de risco antigo  
 Fonte: Autores (2021)

Por analogia, se a alta gerência da empresa desejasse investir e tomar a decisão mais técnica possível, para diminuir a probabilidade de ocorrências de falhas dos outros equipamentos também em 80%, haveria uma nova classificação de risco, passagem da Figura 13 para a Figura 14. Neste caso, visualiza-se que nenhum equipamento teria risco alto ou extremo. Entretanto não é propósito deste trabalho discutir estas decisões, que inclui tratar todas as

falhas, mas focar naquelas relacionadas aos motores hidráulicos e apresentar a MBR como uma aplicação aos outros equipamentos também.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia da Manutenção Baseada em Risco (MBR) apresenta grande potencial para minimizar os riscos associados às falhas em equipamentos. Essa metodologia foi aplicada neste trabalho,

IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE RISCOS - EQUIPAMENTOS				
EQUIPAMENTO	MATRIZ DE RISCOS			
	CONSEQUÊNCIA	PROBABILIDADE	C x P	NÍVEL DE RISCO
1 - Câmeras	5	2	10	Médio
2 - Motores	10	1,8	18	Médio
3 - Placas	6	1,6	9,6	Baixo
4 - Placas PCB	8	1,4	11,2	Médio
5 - Cilindros	10	1,2	12	Médio
6 - Ferramentas	5	1	5	Baixo
7 - Transpônder	5	0,8	4	Baixo
8 - Bombas	10	0,6	6	Baixo
9 - Light	2	0,4	0,8	Baixo
10 - Slip Ring	10	0,2	2	Baixo

Figura 14 – Nova classificação de risco dos dez equipamentos que mais falham  
 Fonte: Autores (2021)

mostrando ser eficaz na obtenção de resultados melhores em equipamentos de ROV.

Nota-se que, independente da aplicação do ROV (indústria de óleo e gás, pesquisa ou militar), a preocupação com a manutenção, a disponibilidade operacional e a confiabilidade são enormes, principalmente quando ele precisa ser acionado nos casos de resgates e emergências em operações com submarinos e nas atividades da DHN.

A partir dos dados do estudo de caso, foi verificado o risco para cada cenário de falha, considerando-se sua consequência e probabilidade de ocorrência. Assim, verifica-se a discussão quanto à questão do que é o risco e qual seu impacto no planejamento da manutenção.

A identificação das falhas mais críticas foi realizada, definindo o equipamento mais crítico que apresentava maior classe de risco. Os motores hidráulicos apresentavam

classe de risco muito alta, e, após a proposta de um plano de manutenção, foi possível reduzir a sua classe de risco para médio.

Cabe destacar que o plano de manutenção proposto precisa ser objeto de revisão, com estudo mais aprofundado, a fim de promover um plano de manutenção ideal, que minimize ao máximo as falhas em outros equipamentos do ROV. É interessante a construção de um histórico de falhas detalhado do equipamento, bem como a inclusão de outros fatores, a fim de incrementar a especificidade e a eficiência do plano de manutenção proposto.

Durante a pesquisa, houve dificuldades em encontrar dados relativos às falhas de equipamentos relacionadas a ROV, o que indica uma área vasta para novos trabalhos em relação à manutenção e a falhas em equipamentos da engenharia submarina em geral, inclusive os veículos operados ROV e autônomos AUV.

#### 📁 CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:

<APOIO>; Manutenção;

<CIÊNCIA E TECNOLOGIA>; Análise de Risco; Motores;

<FORÇAS ARMADAS>; Veículo;

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. NBR 5462. Confiabilidade e manutenibilidade. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, pp. 1-37. 1994.
- ABNT. NBR ISO 31000. Gestão de Riscos – Princípios e Diretrizes. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, pp. 1-32. 2009.
- API 581. *Risk-Based Inspection*. Base Resource Document. 1ª ed. New York: American Petroleum Institute, 2000.
- CARVALHO, Gabriel. “Aplicação da metodologia de manutenção baseada em risco em uma bomba centrífuga de injeção”. UFF: Rio de Janeiro, 2017.
- CARMINATTO, Amanda Aparecida; CIONGOLI, Giovana; SABUNDJIAN, Gaianê. “Panorama mundial das pesquisas com robôs subaquáticos remotamente operados (ROV)”. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 12, 2021.
- COUTINHO, Thiago. “Diagrama de árvore: o que é, quais os tipos e como aplicar”. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/o-que-e-diagrama-de-arvore>. Acesso em: 2 out. 2021.
- GIL, Antônio. *Como elaborar projetos de pesquisas*. 4ª ed. São Paulo: Atlas 2002.

- HELMAN, Horácio. “Análise de Falhas (Aplicação dos Métodos de FMEA)”. FCO, 1995.
- KHAN, F. I.; HADDARA, M. R. “Risk-based maintenance of ethylene oxide production facilities”. *Journal of Hazardous Materials*, St. John's, 2004, pp. 147-159.
- KHAN, F. I.; HADDARA, M. “Risk-based maintenance (MBR): a new approach for process plant inspection and maintenance”. 37th Annual Loss Prevention Symposium. New Orleans: American Institute of Chemical Engineers. 2003, pp. 252-265.
- MOUBRAY, J. M. *Reliability-centered Maintenance*. 2ª ed. Lutterworth: Industrial Press, Inc., 1997.
- OCEANEERING. *Introdução ao ROV*, Macaé (RJ), 2016.
- PEREIRA, P. A. de S. (2023). “Manutenção baseada em risco aplicada em equipamentos submarinos”. *Brazilian Journal of Development*, 9(05), 18178–18197. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv9n5-249>.
- PEREIRA, P. A. de S.; OLIVEIRA, H. L. S. “Proposta de Implantação da Manutenção Baseada em Risco numa Empresa de Comércio e Distribuição de Combustíveis”. In: CNEG 2022 XVI – Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2022, Online, 2022.
- PEREIRA, P. A. de S.; RIBEIRO, L. C. A. “Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade em Veículos Operados Remotamente (ROV)”. *Revista Marítima Brasileira*, V. 144, n. 01/03, janeiro/março 2024, pp. 184-198, 2024.
- REXROTH. Origem em problemas hidráulicos, 2018. Disponível em: [https://dc-br.resource.bosch.com/media/br/downloads\\_4/RP\\_08016\\_2018\\_BOOKLET\\_Filtration\\_FI\\_NAL\\_.pdf](https://dc-br.resource.bosch.com/media/br/downloads_4/RP_08016_2018_BOOKLET_Filtration_FI_NAL_.pdf). Acesso em: 17 jul. 2024.
- SAKAI, S. “Risk-Based Maintenance.” *JR East Technical Review*, Tóquio, n. 17, 2010, pp. 1- 4.
- SAKURADA, E. Y. “As técnicas de análise dos modos de falhas e seus efeitos e análise da árvore de falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos”. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, pp. 1-145, 2001.
- SILVA, D. R. B. “Instrumentação de Turbina Hidráulica Baseada nos Conceitos de Manutenção Centrada em Confiabilidade”. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de São Paulo. São Paulo, pp. 1-229. 2007.
- SOUSA, J.V. N. “Características Gerais dos Veículos Autônomos Submarinos”. *Revista Marítima Brasileira*, V. 139, n. 10/12, outubro/dezembro 2019, pp. 185-191.
- YIN, Robert K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. Trad. Daniel Grassi. 2ª ed., Porto Alegre: Bookman, 2001.
- WEG. “Qual a vida útil do motor elétrico?”. Disponível em: <https://www.weg.net/institutional/BR/pt/contact/faq?page=173&%3A~%3Atext=Os%20rolamentos>. Acesso em: 17 jul. 2024.