

APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM VEÍCULOS OPERADOS REMOTAMENTE (ROV)

PAULO APICELO DE SOUZA PEREIRA*
Professor

LUCAS CARDOSO AMBRÓSIO RIBEIRO**
Engenheiro

SUMÁRIO

Introdução
Método de Pesquisa
Revisão Bibliográfica
Aplicação da manutenção centrada
em confiabilidade
Análise dos resultados
Considerações finais

INTRODUÇÃO

A Marinha do Brasil adquiriu, em 2019, o meio naval K120 – Navio de Socorro Submarino (NSS) *Guillobel*, embarcação de apoio *offshore* capaz de realizar operações de resgate submari-

no, para apoiar o Programa de Desenvolvimento de Submarinos (Prosub). A embarcação tem 85 metros de comprimento e desloca 5.700 toneladas, possuindo convoo e outros acessórios para resgate e mergulho, conforme mostra a Figura 1.

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

** Graduado pela Faculdade Municipal de Macaé Professor Miguel Ângelo da Silva Santos (FeMASS). Piloto técnico de ROV. Atua como piloto de ROV em empresas multinacionais prestadoras de serviços submarinos.



Figura 1 – Navio de Socorro Submarino *Guillobel*

Segundo a Marinha do Brasil (2023), o K120 é dotado de equipamentos e sistemas especiais e tem a missão de efetuar o salvamento de submarinos sinistrados e de suas tripulações. Possui recursos materiais, inclusive ROV, e tripulação qualificada para a realização de diferentes tipos de operações de mergulho, contribuindo para a segurança das operações com ações de submarinos e para a manutenção do patrimônio da Marinha.

De acordo com o site Defesa Aérea e Naval (2023), a perda do submarino argentino ARA San Juan (S 41), da classe *Santa Cruz* (TR 1700), e de sua tripulação de 44 militares, em novembro de 2017, colocou a questão de resgate de um submarino sinistrado no topo das agendas das Marinhas na América do Sul. Acidentes submarinos neste continente não são comuns. Antes da perda do ARA *San Juan*, o mais grave incidente foi o do naufrágio do submarino peruano BAP *Pacocha* (SS 48), classe *Balao*, em agosto de 1988.

Ter embarcações de apoio projetadas para operações de resgate a submarinos é de grande importância, pois eventos com submarinos geralmente ocorrem quando o tempo está ruim, e uma abertura no casco (*moonpool*) existente no NSS *Guillobel* permite o lançamento de dispositivos de busca maiores, veículos subaquáticos autônomos e ROV, mesmo em mares agitados, quando o lançamento

pela borda do navio pode não ser prática (DEFESA AÉREA E NAVAL, 2023).

Segundo Carminatto, Ciongoli e Sabundjian (2021), ROV fazem parte de

um grupo de tecnologias que vem sendo cada vez mais utilizado 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 pode ser exposto. Da exploração dos oceanos a investigações de estruturas subaquáticas, passando por estudos geológicos e operações milita-

A aplicabilidade dos ROV é ampla e abrange os mais diversos mercados mundiais



Figura 2 – Navio de Pesquisa Hidroceanográfico *Vital de Oliveira*

res, os ROV exercem um importante papel dentro de cada possibilidade apresentada e são ferramentas cada vez mais aplicadas e valorizadas pela indústria comercial, governamental e nas áreas nuclear, militar e acadêmica (*apud* TAHIR & IQBAL, 2014, ZAREI *et al.*, 2020).

A Marinha do Brasil também utiliza ROV no Navio de Pesquisa Hidroceanográfico *Vital de Oliveira* (H39), para executar levantamentos hidroceanográficos, realizar coleta de dados ambientais e apoiar pesquisas científicas em áreas marítimas de interesse, além de apoiar tarefas afetas a auxílios à navegação, a fim de contribuir para o cumprimento das atividades relacionadas à Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), como mostra a Figura 2.

Dada a importância do ROV para a Marinha do Brasil, o estudo de aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade, a partir de uma proposta de uso numa empresa *offshore*, visa contribuir para melhoria da gestão do desempenho operacional do equipamento. Os detalhes do estudo podem ser vistos no artigo de Pereira *et al.* (2023).

De acordo com Kardec e Nascif (2009), a manutenção tem o sentido de restabelecer as condições originais dos

equipamentos e sistemas, assim como maximizar a produção com menor custo e maior qualidade, seguindo as normas de segurança propostas pela companhia, sem causar danos ao ambiente.

A empresa estudada no presente trabalho oferece serviços de inspeção e intervenção em equipamentos submarinos utilizando o ROV. Esse equipamento é amplamente utilizado nas fases de exploração e produção de petróleo, principalmente nas áreas em que o ambiente é hostil à presença humana, pois o trabalho de mergulhadores está limitado à profundidade de 300 metros, e, devido à alta profundidade de trabalho, do poço até a plataforma de produção, com lâminas d'água que variam de 2mil a 3 mil metros de profundidade, a manutenção dos ROV se torna cada vez mais crítica e imprescindível para que se tenha um desempenho operacional adequado e um equipamento confiável.

MÉTODO DE PESQUISA

A metodologia de pesquisa deste artigo tem caráter quali-quantitativa, devido ao levantamento de dados críticos de manutenções corretivas. Assim, foi possível elaborar uma apresentação com dados

numéricos e estatísticos que determinaram quais equipamentos mais sofreram paradas inesperadas e tiveram maior impacto de tempo operacional. É qualitativo porque, por meio da interpretação desses dados e da identificação do plano de manutenção atual vigente na organização, foram delimitadas suas características, sendo possível sua classificação de acordo com a ferramenta FMEA (Failure Modes, Effects Analysis).

A pesquisa é classificada como exploratória, e, por meio da análise documental, foi realizado o levantamento de dados históricos a partir dos registros do livro de manutenção da empresa, entre os anos de 2018 e início de 2022, gerando mais informações sobre o assunto em questão. Esse tipo de pesquisa é recomendado quando há pouco conhecimento sobre o assunto, tendo o intuito de se formularem e desenvolverem novas pesquisas (CERVO; BERVIAN, SILVA, 2007).

De acordo com Gil (2002), é possível classificar a pesquisa documental como um tipo de pesquisa bibliográfica, pois alguns documentos já foram analisados e revisados, como relatórios técnicos da empresa e tabelas estatísticas.

O levantamento bibliográfico auxiliou no entendimento do tema acerca de manutenção industrial e estudos de confiabilidade, possibilitando uma visão mais clara do problema e delimitando o assunto abordado, sendo, assim, complementada pela análise documental.

A fim de dar conta do tema proposto, desenvolveu-se um estudo de caso, realizado em uma empresa de serviços submarinos, com foco na área de robótica submarina. Desta forma, foi possível identificar prováveis fatores que foram influenciados pelas manutenções realizadas durante o período estudado, analisando toda a sistemática de manutenção adotada, dados históricos de falhas, disponibilidade

de peças para reposição e mão de obra disponível e qualificada para realizar a atividade. A partir dos dados obtidos, podem ser levantados os dados de falha que ocorreram com maior frequência, aplicados o FMEA e a FTA (Failure Tree Analysis ou Árvore de Falhas), calculados o MTTF (Mean Time to Failure) e a confiabilidade, inclusive propondo melhorias no plano de manutenção.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Conceitos de manutenção, falhas e confiabilidade

Segundo a NBR 5462 (1994), a manutenção pode ser entendida como a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item no estado em que possa desempenhar a sua função primária. Essas atividades podem incluir tratamento de falhas, como detecção, reparo e investigação das causas fundamentais, e estabelecer medidas de controle contra sua reincidência.

Ainda de acordo a norma NBR 5462 (1994), o conceito de falha pode ser entendido como o término da capacidade de um item desempenhar uma função requerida, podendo resultar em condições perigosas e inseguras para as pessoas, danos materiais significativos ou outras consequências inaceitáveis. Conforme a mesma norma, o conceito de confiabilidade é entendido como a probabilidade de que um componente, equipamento ou sistema exercerá sua função sem falhas, por um determinado período previsto, atuando sob as condições de operação especificadas.

Ao tratar do estudo de falhas e gestão de riscos, Pereira (2023) estudou a aplicação da Manutenção Baseada em Riscos (MBR) em equipamentos subma-

rin, que pode ser inserida na política de manutenção dos ROV. Ele ampliou os conhecimentos relacionados à importância de existir um plano de manutenção, à escolha certa de qual tipo de manutenção executar em determinado momento e aos benefícios que serão adquiridos pela empresa ao implementar a MBR.

A Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) é um processo usado para determinar o que precisa ser feito para assegurar que qualquer item físico continue a cumprir suas funções desejadas no seu contexto operacional atual (GURSKI, 2002).

A MCC aborda medidas de confiabilidade para determinar a probabilidade de ocorrência de falha. O primeiro cálculo abordado é o MTTF, ou tempo médio entre falhas, que é dado pelo somatório de tempo até a falha, dividido pelo número de falhas ocorridas. Segundo Lafraia (2001), entende-se como tempo até a falha aquele momento que uma unidade é colocada em funcionamento até a sua primeira falha. Com o MTTF é possível determinar a função de risco:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \left. \frac{-1}{\lambda} e^{-\lambda t} \right|_0^{\infty} = \frac{-1}{\lambda} (0 - 1) = \frac{1}{\lambda}$$

A função confiabilidade representa a probabilidade acumulada de sucesso em função de um determinado tempo (t). Matematicamente ela pode ser expressa pela integral, chegando em sua forma resumida, conforme fórmula abaixo (LAFRAIA, 2001):

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(u)du = \int_t^{\infty} \lambda e^{-\lambda u} du = \left. -e^{-\lambda u} \right|_t^{\infty} = [0 - (-e^{-\lambda t})] = e^{-\lambda t}$$

Ferramentas da qualidade

Para o levantamento, tratamento dos dados e melhora da forma de visualização

das manutenções ocorridas entre os anos de 2018 e início de 2022 no sistema de ROV da empresa estudada, foi utilizado o Diagrama de Pareto, cujo propósito é identificar os problemas de maior importância, possibilitando rápida visualização e maior aprofundamento para que o esforço de melhoria seja direcionado para aqueles que possuem prioridade (BALLESTERO-ALVARES, 2010).

Técnicas de tratamento de falhas surgiram e foram rapidamente absorvidas pela engenharia de manutenção. Muitas delas são relacionadas ao monitoramento da condição funcional dos equipamentos, sem a necessidade de desmonte ou desativação do item para inspeção. No campo metodológico, as pesquisas nas áreas de confiabilidade e manutenibilidade, bem como dos mecanismos e de falhas em equipamentos, deram origem às técnicas de Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade – FMECA (SIQUEIRA, 2014).

Identificadas as falhas possíveis em um sistema, o passo seguinte em direção à prevenção ou correção consiste na caracterização da forma como elas ocorrem, ou seja, os modos de cada falha. A caracterização dos modos é útil para identificar as falhas que podem ser corrigidas, como aquelas que podem ser prevenidas, e para identificar consistentemente as falhas que devem ser monitoradas.

Segundo Siqueira (2014), o modo de falha pode ser definido como um evento ou condição física que causa uma falha funcional ou um dos possíveis estados de falha de um item, para uma dada função requerida.

A FMEA aborda a escolha das ações preventivas para minimizar ou mitigar os impactos das falhas no sistema, na instalação e no ambiente. O efeito de falha resul-

ta do modo de falha na operação, função ou *status* do item. Este conceito é aplicado nos impactos dos modos de falha nas funções de um equipamento (FOGLIATTO e DUARTE, 2011).

Os efeitos de falha podem ser classificados quantitativamente por meio da análise de risco dos índices de severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D).

A severidade (S) é a medida do efeito pouco severo, que afeta minimamente a operação até uma escala máxima de efeito muito severo, podendo, até mesmo, comprometer a segurança da embarcação. A severidade aplica-se exclusivamente ao efeito da falha.

A ocorrência (O) relaciona-se com a probabilidade que uma falha analisada possa ocorrer. A avaliação da ocorrência também é realizada usando-se uma escala qualitativa, em que quanto maior for o número de classificação, maior a probabilidade de ocorrência de falha.

A detecção (D) refere-se a uma estimativa da habilidade dos controles atuais em detectar causas ou modos potenciais de falha antes de o componente ou subsistema apresentar algum defeito. Para reduzir a pontuação, é necessário intensificar o programa de manutenção, inspeção e testes funcionais dos equipamentos.

O Número de Prioridade de Risco (NPR) é um produto matemático de classificação dos efeitos de falha abordados acima. Este número é utilizado para definir a prioridade de ações corretiva e de melhoria do projeto de acordo com o seu risco apresentado. Por meio dos índices de severidade, ocorrência e detecção, é possível determiná-lo pela multiplicação de “S x O x D” (FOGLIATTO e DUARTE, 2011).

Para melhor aplicação da ferramenta, pode ser utilizado um formulário com o intuito de guiar o processo de identificação das falhas. Após a identificação,

é realizada a pontuação da ocorrência, assim como a definição dos controles e a pontuação de detecção. Por último, efetuam-se o cálculo do NPR e a tomada de ações. Dessa forma, a análise do FMEA acaba auxiliando a identificação das ações preventivas e corretivas.

A ferramenta FTA, ou Árvore de Falhas, como é conhecida, foi utilizada em conjunto com o FMEA para mapeamento e priorização de problemas.

ROV – Remotely Operated Vehicle

O ROV, traduzido para Veículo Operado Remotamente, é largamente utilizado como veículo submarino, servindo a uma gama de necessidades militares, comerciais e científicas. Com uma série de propulsores, esses veículos são altamente manobráveis e seguramente operados por um profissional qualificado na superfície. Um cabo de comunicação carrega energia e sinais de controle para o veículo, assim como sinais de vídeo, medições e outros dados sensoriais e de posicionamento. Grande parte dos ROV possui braços manipuláveis para ajudar em operações submarinas, em profundidades consideradas de risco para a vida humana (CAETANO; SOUZA, 2012).

Atualmente, pode-se afirmar que os ROV são equipamentos fundamentais para extração e produção de petróleo no mar, além das outras aplicações citadas anteriormente, e também um item crítico para manutenção e prosseguimento das operações em águas profundas, sendo imprescindível para o avanço na exploração de petróleo da camada pré-sal da costa brasileira, onde existem poços de petróleo sendo explorados a 3 mil metros de profundidade (MORAES, 2011).

Como o ROV passou a trabalhar em condições adversas de pressão, exige-se dele

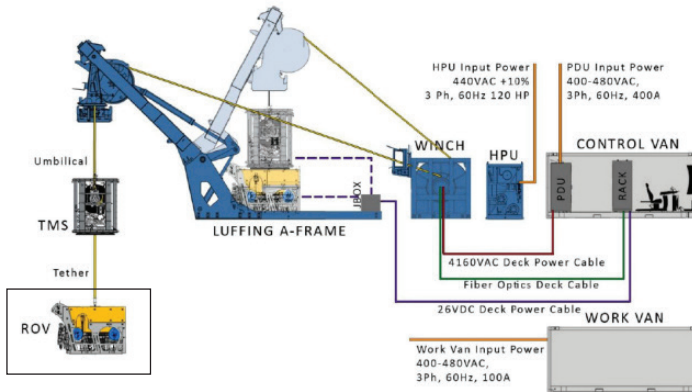


Figura 3 – Desenho geral do sistema de ROV

maior disponibilidade e confiabilidade, e a sua manutenção deixou de ser vista como algo secundário e passou a ser prioridade nas empresas prestadoras desse serviço.

O sistema de ROV consiste dos seguintes componentes, como mostra a Figura 3:

- *Control Van* – a cabine de controle onde ficam localizados os computadores responsáveis pela comunicação da superfície com o veículo submarino, o painel de controle e a cadeira dos pilotos;

- *Work Van* – a oficina de trabalho onde se realiza a manutenção no veículo;

- LARS (Launching and Recovering System) – o sistema de lançamento e recolhimento do veículo, que é constituído da EHPU (*Electric-hydraulic Power Unit* ou Unidade de Potência Elétrica-Hidráulica); do tambor do guincho que acomoda o cabo armado umbilical responsável pela alimentação do sistema e a fibra ótica de comunicação; e do *A-Frame*, estrutura de içamento que transporta o ROV para bordo da embarcação; e

- TMS (Tether Management System) – também conhecido como gaiola, devido ao seu formato, é o sistema de gerenciamento do cabo de comunicação do ROV que possui a camada externa composta de flutuador.

As classes dos ROV são determinadas pelo seu tamanho, capacidade de potência e funcionalidade. A International Marine Contractors Association (IMCA), ou Associação Internacional de Contratadas Marítimas, classifica os veículos como classe I, classe II, classe III, classe IV e classe V. Outros detalhes podem ser vistos no trabalho de Ribeiro (2022).

APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

Neste tópico é apresentado o estudo de caso aplicado na empresa *offshore*, em que foram apresentadas estatisticamente as falhas mais frequentes que ocorreram no sistema de ROV observado de classe III. Este trabalho consistiu em levantar todas as manutenções corretivas não planejadas efetuadas dentro do período de coleta de dados, verificando as causas de suas falhas e propondo melhorias no projeto.

O local de aplicação do estudo de caso foi um sistema de ROV instalado num navio-sonda de perfuração, operando na região do pré-sal brasileira. A operação e a manutenção do ROV são feitas pela equipe de bordo, que é formada por um supervisor e dois operadores técnicos.

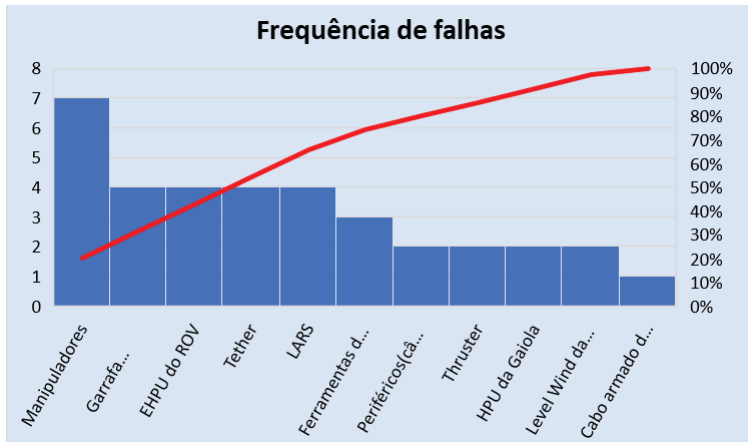


Gráfico 1 – Diagrama de Pareto aplicado na frequência de falhas

Levantamento de dados

Os dados de manutenção foram obtidos por meio do *software* de gerenciamento que a própria empresa desenvolveu. Neste *software* ficam contidas informações como estoque, relatórios de equipe, arquivos de segurança, além do histórico e do plano de manutenção.

A empresa conta com um robusto plano de manutenção preventiva, em que são enviadas dezenas de atividades diárias de manutenção para serem realizadas pela equipe de bordo, incluindo inspeção e intervenção nos equipamentos de todo o sistema de ROV.

Para esta pesquisa, foram utilizados os dados do histórico de manutenção corretiva não planejada, pois a falha ocorrida tornou o equipamento indisponível até que a manutenção fosse concluída. Os dados coletados foram do início de 2019 até o início de 2022, e as informações das manutenções foram compiladas e separadas de acordo com as suas categorias de equipamento; com isso, foi possível determinar a quantidade de falhas ocorridas no período observado. Aplicou-se a ferramenta Diagrama de Pareto, a fim

de identificar as prioridades, de acordo com as categorias de subitem do sistema, conforme Gráfico 1.

De acordo com o gráfico, é possível observar que os subitens que apresentaram maior reincidência de falhas foram os manipuladores, ou popularmente conhecidos como os braços do ROV, indicando ser este um componente que precisa ser priorizado nas ações preventivas.

A Tabela 2 foi elaborada de acordo com as horas de manutenção corretivas não planejadas de cada equipamento.

Equipamento	Manutenção (horas)
Manipuladores	127:48:00
Garrafa eletrônica	153:31:00
EHPU do ROV	222:00:00
Periféricos (câmera, sonar)	2:00:00
Thruster	8:30:00
Tether	58:10:00
Ferramentas do ROV	14:30:00
LARS	47:37:00
HPU da Gaiola	19:10:00
Level Wind da gaiola	14:00:00
Cabo armado do guincho	240:53:00
TOTAL	908:09:00

Tabela 2 – Tempo utilizado em manutenção corretiva

Com a aplicação do Diagrama de Pareto nos dados de tempo de manutenção corretiva, é possível verificar que a troca do cabo armado do guincho foi a atividade que demandou mais tempo para ser executada. Porém esse tempo decorrido não se deve apenas à tarefa de manutenção. Foi constatado que não havia outro cabo armado disponível para reposição imediata. Essa atividade é algo muito improvável de acontecer, por isso não é viável financeiramente manter um cabo armado sobressalente a bordo, além de ser uma atividade de alto risco e que demanda o suporte de um guindaste para movimentação de carga e planejamentos operacional e de segurança.

Dessa forma, foi priorizada a análise do segundo item que mais apresentou recorrência de falhas e teve um tempo considerável para realizar a manutenção corretiva, que foi a EHPU do ROV, como pode ser visto no Gráfico 2.

A EHPU é formada pelo motor elétrico e pela bomba hidráulica, que distribui o fluxo de óleo utilizando tubos e mangueiras para os outros componentes hidráulicos do veículo. Analisando pre-

cisamente o que de fato ocorreu para ser necessária intervenção, conclui-se que o principal causador da falha foi o motor elétrico do ROV.

Aplicação do FMEA e da Árvore de Falhas

No intuito de entender melhor as funções do manipulador e da EHPU e relacionar com suas falhas funcionais e respectivos efeitos, foi elaborado o anexo A de FMEA. Nesse anexo é possível verificar as falhas que possuíam os maiores NPR e indicar os controles de prevenção, as ações de melhoria e o responsável por desempenhar tais atividades. Em conjunto com o FMEA, a Árvore de Falhas foi aplicada para determinar a causa raiz das falhas que levaram ao evento indesejado.

De acordo com o Anexo A, o modo de falha que apresentou o maior NPR foi a perda de telemetria do manipulador. Para identificação da causa raiz, foi utilizada a Árvore de Falhas (Figura 4), e o indesejado evento foi o desgaste excessivo por fadiga do cabo de comunicação do manipulador.

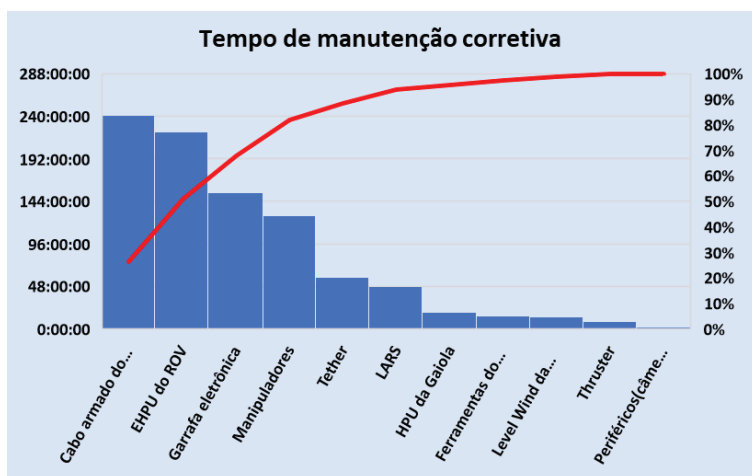


Gráfico 2 – Diagrama de Pareto aplicado ao tempo de manutenção

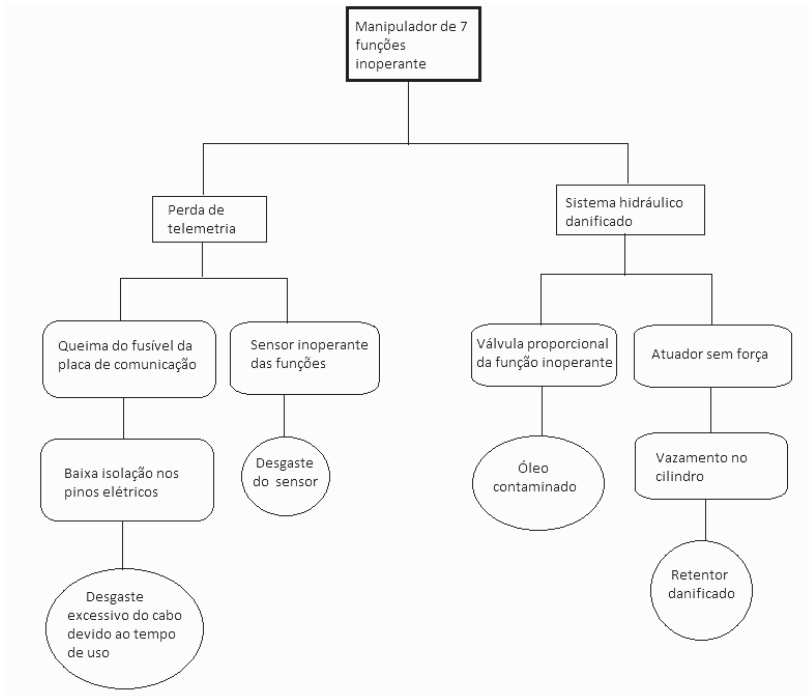


Figura 4 – Árvore de Falhas aplicada no manipulador do ROV

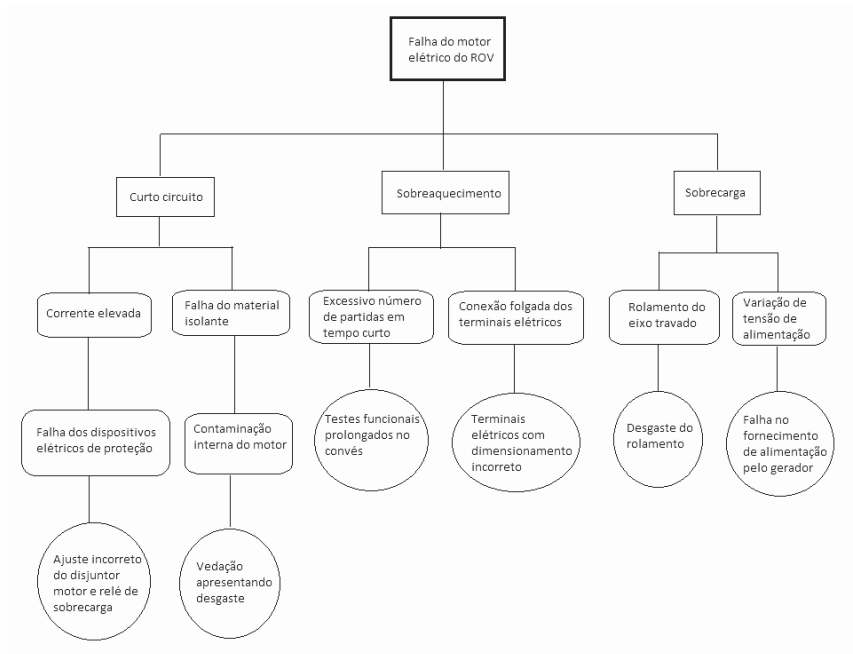


Figura 5 – Árvore de Falhas aplicada ao motor elétrico do ROV

As ferramentas FMEA e FTA também foram aplicadas à EHPU do ROV, conforme pode ser visualizado no Anexo B. Dele concluiu-se que o modo de falha com o maior NPR foi o curto-circuito provocado no motor elétrico que, devido a sua gravidade para operação e ocorrência, desencadeou esse alto índice de risco.

De acordo com a Figura 5, conclui-se que a causa raiz foi o ajuste incorreto do disjuntor motor e o relé de sobrecarga, não funcionando corretamente para proteger o circuito, além da vedação que apresentou desgaste, culminando na contaminação interna do óleo isolante do motor e na falha do material isolante.

Para desenvolver os cálculos de confiabilidade do sistema, foi utilizado o MTTF do manipulador como exemplo, com base no início do histórico de manutenção da Tabela 3 até a última falha apresentada, e calculou-se como $29,2 \times 10^{-5}$ o valor da função de risco.

Início	Final	Tempo até falha
17/01/2019	15/02/2019	696:00:00
15/02/2019	26/06/2020	11928:00:00
26/06/2020	14/11/2020	3384:00:00
17/11/2020	29/03/2021	3168:00:00
29/03/2021	14/04/2021	384:00:00
14/04/2021	23/05/2021	936:00:00
25/05/2021	18/10/2021	3504:00:00
TOTAL		24.000 horas
MTTF		3.428 horas

Tabela 3 – MTTF do histórico de falhas

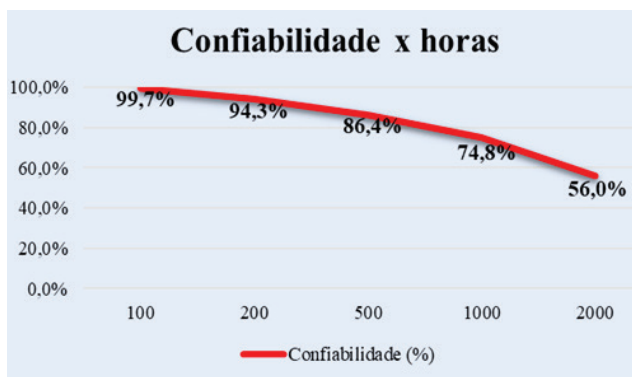


Gráfico 3 – Confiabilidade x tempo

Com o valor da função de risco definida, foi possível estimar a confiabilidade de atuação do manipulador, utilizando medidas de tempo sugeridas (Gráfico 3).

ANÁLISE DOS RESULTADOS

O Gráfico 3 exemplifica como a confiabilidade de atuação do manipulador pode reduzir de acordo com o número de horas, diminuindo de um valor próximo a 100% de confiabilidade em 100 horas de operação para 56% em 2.000 horas. Com essa estimativa, a empresa pode se planejar de acordo com os objetivos estratégicos adotados, decidindo o quanto está disposta a investir para manter um alto nível de confiabilidade no equipamento.

Durante o estudo de caso, observou-se que a empresa segue o plano de manutenção preventiva sugerido pelo fabricante dos equipamentos, assim como tarefas propostas pelo próprio histórico que possui. A maioria das tarefas de manutenção é baseada no tempo de operação dos equipamentos, porém é visto que, mesmo com o plano vigente, ainda acontecem falhas operacionais no sistema.

Outro aspecto relevante observado é que a empresa *offshore*, objeto do estudo, se utiliza pouco das técnicas de

manutenção preditiva, como instalação de sensores de ruído nos motores, medição de temperatura dos condutores elétricos e análise do óleo utilizado nos motores e bombas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou os principais conceitos relacionados à área de manutenção e robótica submarina, por meio de um estudo de caso aplicado em um sistema de ROV de uma empresa atuante do setor de óleo e gás, que pode ser estendido à Marinha do Brasil.

Vimos que, independente da aplicação do ROV, a preocupação com a manutenção, disponibilidade operacional e confiabilidade é enorme, principalmente quando ele precisa ser acionado nos casos de resgates e emergências em operações com submarinos e nas atividades da DHN.

A aplicação das ferramentas de qualidade Diagrama de Pareto, FMEA e FTA e do conceito de confiabilidade do equipamento pode ser um grande diferencial para a empresa e de profunda contribuição para novos projetos, além de permitir desenvolver estratégias de prevenção de falhas operacionais, porém é necessário esforço gerencial, investimento em recursos tecnológicos, treinamentos e capacitação para o pessoal.

O estudo mostrou que, com a aplicação da MCC, é possível direcionar os esforços da mão de obra para aqueles componentes do ROV que mais apresentaram falhas críticas. Assim, todo o conteúdo produzido neste artigo poderá servir como base para trabalhos futuros voltados para a área de equipamentos submarinos, robótica submarina, ferramentas de uso *offshore* em geral e servir de ponto de partida para melhoria do plano de manutenção de empresas que usam o ROV em suas operações.

CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:

<APOIO>; Manutenção;

<CIÊNCIA&TECNOLOGIA>; Veículo Não Tripulado; Comando a Distância; C&T na Marinha;

REFERÊNCIAS

- BALLESTERO-ALVAREZ, Maria Esmeralda. *Gestão de qualidade, produção e operações*. São Paulo: Atlas, 2010.
- CAETANO, Anderson de Abreu; SOUZA, Sebastião Decio Coimbra de. “Comparação de desempenho operacional de dois ROV na execução de atividades *offshore* no setor de petróleo”. Enegep2012, Bento Gonçalves/RS, out. 2012.
- 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, e396101220462, 2021 (CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20462>.
- CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino; SILVA, Roberto da. *Metodologia científica*. 6ª edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.
- FOGLIATTO, Flávio Sanson; DUARTE, José Luís Ribeiro. *Confiabilidade e manutenção industrial*. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011.

- GIL, Antônio Carlos, 1946. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4ª edição, São Paulo: Atlas, 2002.
- GURSKI, Carlos Alberto. Curso de formação de operadores de refinaria. *Noções de confiabilidade e manutenção industrial*. Curitiba: Petrobras: UnicenP, 2002.
- KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. *Manutenção: função estratégica*. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2009.
- LAFFRAIA, João Ricardo Barusso. *Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade*. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2001.
- NBR 5462: 1994. *Confiabilidade e Manutenibilidade*. Rio de Janeiro: ABNT, 1994. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
- PEREIRA, P. A. de S. (2023). “Manutenção baseada em risco aplicada em equipamentos submarinos”. *Brazilian Journal of Development*, 9(05), 18178–18197. <https://doi.org/10.34117/bjdv9n5-249>.
- PEREIRA, P. A. de S.; AMARAL, M. C.; BELLA, R. L. F.; RIBEIRO, L. C. A. (2023). “Manutenção centrada em confiabilidade aplicada a um sistema de ROV”. *Brazilian Journal of Development*, 9(07), 21392–21413. <https://doi.org/10.34117/bjdv9n7-013>.
- RIBEIRO, Lucas Cardoso Ambrósio. “Manutenção centrada em confiabilidade aplicada a um sistema de ROV”. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de Produção. Faculdade Professor Miguel Ângelo da Silva Santos (FeMASS), Macaé/RJ, 2022.
- SIQUEIRA, Iony Patriota. *Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implementação*. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2014.

Sites consultados:

- DEFESA AÉREA E NAVAL. “Análise: O resgate a submarinos sul-americanos”. Disponível em: <https://www.defesaareanaval.com.br/naval/analise-o-resgate-a-submarinos-sul-americanos>
Acesso em: 11 jul. 2023.
- MARINHA DO BRASIL Navio de Pesquisa Hidroceanográfico. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/meios-navais/navio-de-pesquisa-hidroceanografico>. Acesso em: 11 jul. 2023.
- MARINHA DO BRASIL. Navios de Socorro Submarino. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/meios-navais/navio-de-socorro-submarino>. Acesso em: 11 jul. 2023.

ANEXO A – FMEA APLICADO NO MANIPULADOR DO ROV

FMEA - Análise do Modo de Falhas e Efeitos										
Empresa: X										
Setor: ROV										
Preparado por: Lucas Cardoso A. Ribeiro										
Responsável pelo projeto: Engenheiro de manutenção										
Item / Função	Modo potencial de Falha	Efeito	Severidade	Causa	Ocorrência	Controles de prevenção	Deteção	Risco(NPR)	Ação	Responsável
Manipulador de 7 funções do ROV	Perda de telemetria	Sem comunicação eletrônica da superfície com o equipamento no fundo do mar	8	Queima do fusível da placa de comunicação	8	Teste funcional	4	256	Verificar peças sobressalentes para troca rápida da placa em caso de queima	Engenheiro de manutenção/Equipe de bordo
				Sensor inoperante das funções		Teste funcional e limpeza da conexão do sensor			Intensificar inspeção e testes do sensor, para manter histórico de utilização	Equipe de bordo
				Baixa isolamento nos pinos elétricos		Megagem do cabo e teste de continuidade			Realizar constantemente medição de resistência entre condutores e continuidade	Equipe de bordo
				Desgaste excessivo do cabo	8	Inspeção no conector e na capa externa do cabo.	3	192	Intensificar checagem, teste funcional e troca preventiva	Equipe de bordo
	Sistema hidráulico danificado	Sem movimentos do manipulador	9	Válvula proporcional da função inoperante	7	Teste funcional	2	126	Reduzir periodicidade para retirada e limpeza das válvulas proporcionais.	Engenheiro de manutenção
				Vazamento no cilindro		Teste funcional e inspeção diária			Verificar novos fornecedores de retentor	Engenheiro de manutenção
			9	Óleo contaminado	6	Inspeção e retirada de amostra	2	108	Retirar e enviar amostras do óleo para análise em laboratório. Realizar a troca preventivamente do óleo e filtro.	Equipe de bordo/Engenheiro de manutenção

ANEXO B – FMEA APLICADO NO MOTOR ELÉTRICO DO ROV

FMEA - Análise do Modo de Falhas e Efeitos											
Empresa: X											
Setor: ROV											
Preparado por: Lucas Cardoso A. Ribeiro											
Responsável pelo projeto: Engenheiro de manutenção											
Item / Função	Modo potencial de Falha	Efeito	Severidade	Causa	Ocorrência	Controles de prevenção	Deteção	Risco(NPR)	Ação	Responsável	
Motor elétrico do ROV	Curto circuito	Não fornece energia suficiente para componentes hidráulicos	10	Curto entre fases do enrolamento trifásico	6	Megagem dos motores de acordo com plano de manutenção	4	240	Implementar sistema de manutenção preditiva no circuito do motor elétrico, como medidor de corrente e resistência entre fases	Engenheiro de manutenção	
				Contaminação interna do motor		Coletar amostras de óleo do motor			Enviar amostras coletas para serem analisadas em laboratório	Equipe de bordo	
				Falha do material isolante		Realizar troca do óleo isolante do motor			Reduzir a periodicidade de troca do óleo isolante do motor	Engenheiro de manutenção	
			10	Falha dos dispositivos de proteção do circuito elétrico	7	Checamagem e teste dos dispositivos de proteção	3	210	Intensificar checagem e teste dos dispositivos de proteção	Equipe de bordo	
	Sobreaquecimento	Circuito de proteção não permite a partida	8	Excessivo número de partidas em tempo curto	6	Planejar teste funcional par reduzir o número de partidas do motor	3	144	Implementar novo procedimento para teste funcional no convés	Engenheiro de manutenção	
				Conexão folgada dos terminais elétricos		Manutenção preventiva			Implementar sistema de manutenção preditiva como medição de temperatura dos condutores	Engenheiro de manutenção	
	Fornecer torque para partida do circuito hidráulico	Sem rotação de partida do motor	Motor travado sem rotação inicial	10	Rolamento travado não permite a rotação	6	Teste funcional	3	180	Troca do rolamento de acordo com o tempo de utilização	Equipe de bordo
		Circuito elétrico com conexão incorreta	Rotação invertida do motor, não fornece energia para a bomba hidráulica	8	Falta de procedimento de instalação	6	Elaboração de procedimento de instalação e testes	2	96	Revisão de documentos e procedimentos	Engenheiro de manutenção
8				Erro no manual de montagem	6	Revisão de manual	4	192	Treinamento da mão de obra	Setor de treinamentos	
8				Identificação inadequada de fios e conectores	6	Revisão de procedimentos	3	144	Treinamento da mão de obra	Setor de treinamentos	