

**Normas para a Formatação de Comunicações a Submeter ao  
17.º Congresso Nacional de Manutenção  
23 e 24 de Novembro de 2023 – Hotel Vila Galé, Coimbra, Portugal**

**Manutenção Dinâmica em Navios – Análise de Risco**

S. Lampreia <sup>(1)</sup>, V. Vairinhos <sup>(1)</sup>, V. Lobo <sup>(1)</sup>, T. Morgado <sup>(2)</sup> e H. Navas <sup>(3)</sup>

suzanalampreia@gmail.com, @dem.ua.pt, mjb@dem.ua.pt, mtc@dem.ua.pt

<sup>(1)</sup> Departamento de Ciências e Tecnologia, Escola naval – CINAV, Almada, Portugal

<sup>(2)</sup> Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, Portugal.

<sup>(3)</sup> UNIDEMI, Research & Development Unit for Mechanical and Industrial Engineering, NOVA School of Science and Technology, Universidade NOVA de Lisboa, Portugal

---

## Resumo

O sistema de manutenção de equipamentos tem sofrido ao longo dos anos uma evolução no sentido do executar estritamente as tarefas necessárias com qualidade superior e com o mínimo de recursos materiais e pessoais. Neste sentido, no âmbito da manutenção de sistemas navais e otimizando os recursos existentes, pretende-se desenvolver um sistema de manutenção dinâmica baseado no risco. Para testar este princípio efetuou-se uma análise de risco geral a um equipamento e depois aplicou-se o *Failure Mode Effect Analysis* e o *Failure Mode Effect and Criticality Analysis* de forma a testar os resultados das várias metodologias. Desta forma pretende-se contribuir para a constituição de um sistema de manutenção ágil que permita a indicação da execução de manutenções que vão ao encontro dos recursos materiais e humanos disponíveis.

---

## 1. Introdução

Os navios da Marinha representam sistemas complexos com quantidades significativas de sensores instalados em modernos sistemas eletromecânicos. Os sensores originam diariamente centena de dados que nem sempre são organizados e utilizados de forma útil.

Para manter a operacionalidade dos equipamentos e sistemas, muitas ações preventivas e, às vezes, corretivas podem ser tomadas.

Na organização existe sob um plano de manutenção bem estruturado e estabelecido que permite um bom desempenho dos navios. Mas existem alguns procedimentos que podem ser aprimorados com o objetivo de otimizar o desempenho da manutenção e a gestão dos custos associados.

A motivação deste estudo está centrada em:

- Ambiente de escassez de recursos, humanos e materiais para manutenção dos navios.
- Necessidade de implementar um sistema de manutenção mais eficiente e eficaz.
- Desenvolver um sistema dinâmico de apoio à manutenção baseado num software de tomada de decisão.

Este trabalho está dividido em capítulos onde inicialmente foi feito um estado da arte na área de manutenção naval e as metodologias que podem ser aplicadas no tratamento de dados dos equipamentos selecionados para o estudo, em seguida foi focado no Modo de Falha, Efeitos e Análise Crítica (FMECA, *Failure Mode Effect and Criticality Analysis*), em que também se expôs a organização nos navios de superfície na Marinha Portuguesa, em seguida a metodologia de monitorização e tratamento de dados é exposta, segue-se o estudo de caso com FMECA aplicado a motores diesel de propulsão, e em seguida são apresentados os resultados e são expostas algumas estratégias mitigadoras para os resultados menos positivos.

## 2. Manutenção – Otimização das Ações

Existem alguns ambientes, devido ao timing, contexto económico, localização dos navios, que não permitem realizar algumas ações de manutenção, nesse caso priorizar a manutenção, assumindo que nem toda a manutenção pode ser realizada [1] pode ser uma lógica estratégica para concretizar apenas o que deve ser feito para manter um navio a navegar com um bom nível de operacionalidade.

As manutenções que não forem realizadas deverão ser reagendadas também de acordo com priorização futura. Para implementar estas estratégias foram utilizadas árvores de decisão pela Marinha dos (GAO, 2022), pelo que se acredita que é possível implementar algumas técnicas de apoio à decisão que irão melhorar a gestão da manutenção também na Marinha Portuguesa.

Na indústria naval, a metodologia Fragilidade e Criticidade (FaC) é utilizada para estudar a probabilidade de qualquer manutenção ser descontinuada (Button, 2015) (Martin et al., 2017)[2][3].

Os critérios de manutenção em controlo de condição devem ser detalhados, por exemplo: nas horas de voo de um helicóptero, deve-se discriminar o tempo que ele sobrevoa o mar em ambiente salino e o tempo que sobrevoa a terra [4]. Ali & Abdelhadi (2022) [4] refere ainda que a manutenção baseada na condição deve ser utilizada em substituição da manutenção baseada no tempo de funcionamento.

Os fatores que influenciam as decisões sobre manutenção em navios de guerra são a necessidade de redução de custos e as dificuldades de programação de manutenção dada a disponibilidade de estaleiros[5].

Nos navios de superfície da Marinha Real do Reino Unido (RN) foi feita uma análise qualitativa do estado do ciclo de vida para reduzir os custos com as Forças Armadas (Ford et al., 2015)[6].

Os navios de superfície da Marinha dos EUA foram modernizados considerando que se pretendia implementar um sistema de previsão de falhas [7].

As estratégias de manutenção de um navio devem ser integradas e planeadas quando o projeto e a construção são feitos, se assim for, pode ser que o processo de intervenção de manutenção futura seja ágil e adaptativo [8]. Para realizar um sistema de manutenção planeada em navios três passos foram propostos por [9]: “Avaliação de Riscos – Monitorização de Condições e Aprendizado de Máquina”, “Teoria de Agendamento de Manutenção” e “Quantificação de Disponibilidade e Custo Geral de Manutenção”. Alguma metodologia relativa a estas três etapas poderá ser implementada na Marinha Portuguesa.

Foi proposto um sistema informatizado de gestão da manutenção (CMMS) para aplicação em navios militares, considerando automação e respectivos sensores [10]. Neste sentido as ações de manutenção antes da sua implementação devem ser:

- Planeadas.
- Preparadas no que diz respeito ao software vs atributos de controle.
- Modeladas para obtenção dos dados.

Se os navios mantiverem um registo de anomalias podem ser evitadas ocorrências de danos semelhantes, será possível medir o desempenho da manutenção implementada e fazer propostas de melhoria [11].

Certas metodologias estatísticas podem contribuir efetivamente para a implementação da manutenção baseada na condição.

Lampreia et al. (2015)[12] e Vairinhos et al. (2018)[13] aplicaram respectivamente cartas de controlo modificadas e biplots para análise dos dados.

### 3. A Manutenção na Organização

A Marinha Portuguesa [14] implementou um sistema de recolha e tratamento de dados desde a década de 1980, informatizado na década de 1990, com software, SICALN, primeiro em ambiente MS-DOS, e posteriormente em ambiente ORACLE. Este sistema também está sendo avaliado para possíveis melhorias e substituições. No Sistema de Recolha e Tratamento de Dados (SRTD) não existe um tratamento estatístico sistemático dos dados recolhidos, apenas estão disponíveis para consulta.

“O ciclo de vida de um navio é definido como o período de tempo decorrido desde a sua conceção até à sua alienação,...”. [15]

Para manter os navios operacionais, durante o seu ciclo de vida poderão ocorrer intervenções de manutenção que podem ter três fases de manutenção [14]:

- A 1ª fase;
- A 2ª etapa;
- A 3ª etapa;

Estes processos de manutenção e recuperação da operacionalidade dos meios são possíveis através da coordenação técnica dos vários membros da organização envolvidos.

A organização da Manutenção da Marinha Portuguesa inspirada no normativo vigente, mas adaptada à sua realidade consiste na manutenção preventiva e na manutenção corretiva, a primeira subdivide-se na sistemática e na condicionada, e a segunda: a atual, eventual, urgente e muito urgente. Às vezes na manutenção corretiva aparece outra “figura” de manutenção, a manutenção de contingência, onde são feitas apenas as correções essenciais para o cumprimento de alguma missão do navio.

### 4. Case Study

O ciclo de vida de manutenção é definido como o “tempo decorrido entre a entrada em serviço e o final da primeira revisão provisória, ou entre as datas de conclusão entre duas revisões provisórias consecutivas”. [15] O plano de manutenção do navio da Marinha Portuguesa sob estudo, possui um ciclo de 5 anos, onde os primeiros 23 meses correspondem a um estado operacional, depois dá lugar a uma pequena revisão com a duração de 2 meses, após esse período mais 23 meses num estado operacional, e finalmente um período de revisão intermediária de 12 meses considerando uma docagem de 5 meses.

O processo de decisão base começa com o equipamento e seus sensores, Fig. 1, onde deverá existir uma lista dinâmica que é alimentada pelos sensores do equipamento e pelo registo de alguma ação de manutenção no SRTD e talvez em outros sistemas, com base na qual a Análise do Efeito do Modo de Falha (FMEA - *Failure Mode Effect Analysis*) e FMECA são construídos.

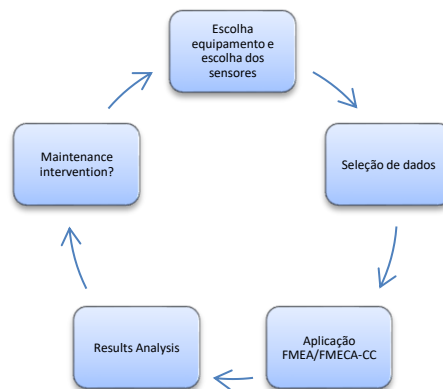


Figura 1 – Modelo base de decisão

Os equipamentos selecionados para serem expostos neste estudo são dois motores diesel dum navio com propulsão combinada. As características dos motores diesel selecionados são as seguintes: 1163 TB83,12 com cilindros em V, com 3 sobrealimentadores.

Para a avaliação de risco podem ser utilizadas diversas metodologias. Na área de manutenção a Análise do Efeito do Modo de Falha (FMEA) e a Análise Crítica do Efeito do Modos de Falha (FMECA) podem ser uma das metodologias aplicáveis.

Primeiramente e antes da avaliação de risco foi aplicado um FMEA, Tabela 1. Foram utilizados os dados do sistema de plano de manutenção existente, e o aspeto, impacto e forma de deteção foram desenvolvidos de acordo com a percepção dos autores.

Para calcular o FMECA foi utilizada a equação nr 1. Onde O é a probabilidade de ocorrência, S a severidade e D a facilidade de deteção.

$$RPN_{DM} = O * S_m * D * \quad (1)$$

Relativamente à Severidade foram consideradas 5 tipos; a Severidade na Segurança, a Severidade no Ambiente, a Severidade no Equipamento, a Severidade no Pessoal, a Severidade nas Operações; e a Severidade total é calculada através da média das 5 severidades.

#### 4.1 Resultados

Na tabela 1 pode-se observar os resultados da FMEA e FMECA.

Tabela 1 – Applying FMECA for Risk Analysis - FMECA-CC

Motores Principais	Aspeto	Impacte	Como detetar	FMECA	FMECA_CC
A navegar verificar cor dos gases de evacuação, condensações, obstruções, etc	Cor gases inadequada	Mistura combustível inadequada/Válvulas desafinadas	Método de observação dos gases no exterior	2,8	5
A navegar verificar cor dos gases de evacuação, condensações, obstruções, etc	Cor gases inadequada	Injetores descalibrados/Consumo combustível excessivo	Método de observação dos gases no exterior	4	10
A navegar verificar cor dos gases de evacuação, condensações, obstruções, etc	Cor gases inadequada	Arrastamento de combustível/Risco incêndio	Método de observação dos gases no exterior	4	7
A navegar verificar cor dos gases de evacuação, condensações, obstruções, etc	Cor gases inadequada	Falta vedação aros/arrastamento óleo lubrif./Risco incêndio	Método de observação dos gases no exterior	4	6

Dos resultados constantes na Tabela 1 verifica-se que a FMECA-CC é mais sensível do que a FMECA ao cruzar a FMECA desenvolvida com os dados colhidos da manutenção condicionada.

Apesar dos resultados, deve ser referido que na FMEA os dados escolhidos para o estudo e a avaliação de risco, devem ser alvo de trabalho futuro para verificação da significância dos dados, onde está previsto a utilização de questionários a especialistas de forma a ajustar os parâmetros/variáveis.

Além disso, deve ser considerado o estudo em outros equipamentos, para eventual implementação do FMECA-CC, são exemplo equipamentos como Compressor de Ar e Centrifugador de Óleo e Gasóleo Marítimo. Se a má condição geral dos equipamentos auxiliares for uma realidade, a decisão poderá ser a de proceder à manutenção paralela durante a manutenção dos motores propulsores.

A par dos resultados obtidos, não só o estado do equipamento, mas também a oportunidade de proceder a uma manutenção no período operacional do navio e os recursos materiais e pessoais são variáveis vitais e devem ser contabilizados no processo de manutenção.

Uma estratégia para mitigar o risco calculado pode ser o seguinte: caso seja detetada alguma anomalia e não houver possibilidade de intervenção, a monitorização do equipamento deverá ser mais frequente e poderá ser feita alguma pequena intervenção de manutenção (contingência), sem colocar o equipamento fora de serviço.

#### 5. Conclusão

Num ambiente de escassez de recursos materiais e humanos uma gestão dinâmica da manutenção pode ser uma solução para otimizar os recursos.

Antes de implementar um sistema dinâmico de gestão de manutenção, foram analisados os dados anteriores e os processos implementados.

FMEA e FMECA podem servir de base para um sistema de apoio à decisão de manutenção aplicado ao plano de sistemas de equipamentos.

As informações registadas consideradas para o sistema de apoio à decisão que aplica um FMECA-CC são: o plano do sistema de manutenção do equipamento, os dados de controle de condição (Vibrações/termografia/parâmetros/dados-texto registados - DSM58).

A aplicação de listas de trabalho dinâmicas pode levar à otimização da manutenção e consequentemente à redução de custos com materiais e pessoal.

Para trabalhos futuros o FMECA deverá ser validado por especialistas da área de engenharia e técnicas industriais. Deve ainda ser finalizada a análise dos dados utilizando a metodologia de análise de risco, finalizar a análise do FMECA e integrar outros equipamentos relacionados e escolher a melhor metodologia para os dados apresentados.

## Referências

- [1] GAO (2022). NAVY SHIP MAINTENANCE Actions Needed to Monitor and Address the Performance of Intermediate Maintenance Period, United States Government Accountability Office.
- [2] Button, W., Martin, B., Sollinger, J. e Tidwell Abraham (2015). Assessment of Surface Ship Maintenance Requirements. Rand Corporation, Santa Monica, California.
- [3] Martin, B, McMahon, M., Riposo, J., Kallimani, J., Bohman, A., Ramos, A. & Schendt, A. (2017). A Strategic Assessment of the Future of U.S. Navy Ship Maintenance: Challenges and Opportunities. Rand Corporation, Santa Monica, California.
- [4] Ali, A. & Abdelhadi, A. (2022). Condition-Based Monitoring and Maintenance: State of the Art Review. *Journal of Applied Sciences*, MDPI, 12 (2), 688.
- [5] Blanton, G. (1997). The Future of Navy Ship Maintenance – One Point of View. *Journal Ship Production and Design*, 13 (02), 147-152.
- [6] Ford, G., McMahon, C. & Rowley, C. (2015). An Examination on significant Issues in Naval Maintenance. The fourth International Conference on Thought-life Engineering Services. Elsevier, CC BY-NC-ND license, 197-203.
- [7] Lee, C. (2020). Just in: Navy Looking for Better Approaches to Ship Maintenance. [Em linha]. Disponível em: <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2020/8/25/navy-works-to-tackle-ship-maintenance>, [Consult. 05 jul.2021].
- [8] Eckestein, M. (2020). Navy Striving for 71% On-Time Ship Maintenance This Year, No Extensions By End of 2021. USNI News, [Em linha]. Disponível em: <https://news.usni.org/2020/01/23/navy-striving-for-71-on-time-ship-maintenance-this-year-no-extensions-by-end-of-2021>, [Consult. 15 nov.2023].
- [9] Cullum, J., Binns, J., Lonsdale, M., Abbassi, R. & Garaniya, V. (2018). *Risk-Based Maintenance Scheduling with Application to Naval Vessels and Ships*. *Journal of Ocean Engineering* 148, 476-485.
- [10] Dragos, S., Pucarea, A., Cotorcea, A. & Florin, N. (2020). Maintenance Onboard Ships Using Computer Maintenance Management System. *Scientific Bulletin of Naval Academy*, Vol. XXIII 2020, Issue nº1, MBNA Publishing House Constanta 2020.
- [11] Alhouli, Y. (2011). Development of Ship Maintenance Performance Measurement Framework to Assess the Decision Making Process to Optimise in Ship Maintenance planning. PhD Thesis of Faculty of engineering and Physical Sciences, School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering.
- [12] Lampreia S., Requeijo J., Dias J., & Vairinhos V. (2015). Implementation of MEWMA Control Chart in Equipment Condition Monitoring. *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, Vol. 3, No. 6, p. 667-677, dezembro 2015.
- [13] Vairinhos, V., Parreira, R., Lampreia, S., Lobo, V., & Galindo, P. (2018). Vibration Analysis Based in HJ-Biplots. *International Journal of Prognostics and Health Management*, 1-10.
- [14] Marinha<sup>i</sup> (1984). Manual do Sistema de Recolha e Tratamento de Dados (SRTD) (ILMANT512). Direção de Navios.
- [15] Marinha<sup>ii</sup> (2020). Ciclos de Manutenção das Unidades Navais e Helicópteros (ILDINAV801). Direção de Navios. Martin, B, McMahon, M., Riposo, J., Kallimani, J., Bohman, A., Ramos, A. & Schendt, A. (2017). A Strategic Assessment of the Future of U.S. Navy Ship Maintenance: Challenges and Opportunities. Rand Corporation, Santa Monica, California.