

Uso da manutenção produtiva total (TPM) para elevação da disponibilidade de embarcações de pesquisa e ensino

Use of total productive maintenance (TPM) to raise the availability of research and teaching vessels

DOI:10.34117/bjdv7n12-316

Recebimento dos originais: 12/11/2021
Aceitação para publicação: 09/12/2021

(autor)

Bruno da Rold Zaniol

Mestre em Engenharia Mecânica – FURG
E-mail: bdzaniol@gmail.com

(coautores)

Leonardo de Carvalho Gomes

Pós-doutorado em Engenharia de Produção – UFRGS
E-mail: legomes.rs@gmail.com

Lauro José Doria Orselli

Mestrando em Engenharia Mecânica – FURG
E-mail: orselli.specmec@gmail.com

RESUMO

Embarcações científicas possuem conjuntos complexos que necessitam de manutenções específicas e periódicas, como é o caso de sistemas de propulsão, auxiliares e de coleta de dados e amostras. Esses sistemas, quando inoperantes, comprometem a segurança e acarretam em atrasos e prejuízos aos projetos de ensino e pesquisa. A ausência de políticas estruturadas para a gestão da manutenção para os equipamentos tem como consequência direta a redução da disponibilidade. Assim sendo, objetiva-se a implementação de Manutenção Produtiva Total (TPM), para elevação da disponibilidade de embarcações de pesquisa e ensino. O trabalho possui abordagem qualitativa e natureza aplicada, sendo o método científico definido como pesquisa-ação, mediante a realização de pesquisas na literatura e de campo, bem como na aplicação da metodologia adotada para a implementação do TPM. O objeto de estudo é a frota de embarcações da Universidade Federal do Rio Grande, composta pelo Navio Oceanográfico Atlântico Sul, pelo Laboratório de Ensino Flutuante Ciências do Mar I e pela Lancha de Pesquisa Larus. A aceitação do programa e sua metodologia pela alta gerência e pelos tripulantes e mantenedores e os esforços do Departamento de Engenharia de Manutenção (equipe técnica formada por engenheiros e estagiários da FURG) para a estruturação dos pilares fundamentais do TPM. A partir da implementação do TPM, utilizando as técnicas e ferramentas para o desenvolvimento do *framework* e sua aplicação, a disponibilidade da frota evoluiu de 30% em dezembro de 2018 (início do programa) para 92% em maio de 2021. Como consequência direta, foram minimizados os atrasos na realização dos trabalhos embarcados e reduzidos os custos não-previstos. Foi possível, também, nesta pesquisa, identificar os principais fatores de sucesso na implementação do TPM. Os ganhos mencionados evidenciam que o TPM é um sistema de gestão consolidado, não

somente para processos produtivos industriais, mas podendo ser utilizado para a manutenção de frotas de pesquisa e ensino, e com potencial de aplicação para outras classes de embarcações.

Palavras-chave: TPM - Manutenção Produtiva Total, Embarcações Científicas e Disponibilidade.

ABSTRACT

Scientific ships have complex sets that require specific and periodic maintenance, such as propulsion, auxiliary and data collection systems. These systems, when inoperative, commit damage in the safety, delays and losses for teaching and research projects. Absence of structured maintenance policies for equipments has the direct consequence of reducing availability. Therefore, the objective of the Total Productive Maintenance (TPM) implementation is to increase the availability of research and teaching ships. The work has a qualitative approach and an applied nature, and the scientific method is defined as action research, by conducting research in the literature and in the field, as well as applying the methodology adopted for TPM implementation. The object of study is Ships from the Federal University of Rio Grande (FURG), composed of the Oceanographic Ship Atlântico Sul, the Laboratory of Floating Education Ciências do Mar I and the Research Boat Larus. The acceptance of the program and its methodology, by the top management, crew's ship and maintenance, and the efforts of the Maintenance Engineering Department (technical team formed by engineers and interns from FURG) to structure the fundamental pillars of the TPM. As from the TPM implementation, using the techniques and tools for the development of the framework and its application in the ships availability were from 30% in December 2018 (start of the program) to 92% in May 2021. As a direct consequence, delays in carrying out on-board work and reduced unforeseen costs. It was also possible, in this research, to identify the main success factors in the TPM implementation. The mentioned earnings evidence that the TPM is a consolidated management system, not only for industrial production processes, but it can be used for fleet of research and teaching maintenance, with potential application for other Ships classes.

Keywords: TPM - Total Productive Maintenance, Scientific Ships and Availability,

1 INTRODUÇÃO

Toda embarcação é um sistema complexo que demandam acompanhamento operacionais e processos específicos de manutenção, que visam a disponibilidade do equipamento e desta forma aumentar sua confiabilidade operacional, sem afetar a segurança dos trabalhadores e prejudicar o meio ambiente (TAM e JONES, 2017). Segundo Tinga et al. (2017), a manutenção naval tende a ser corretiva e quando realizada de forma preventiva, caracteriza-se por ainda gerar grandes indisponibilidade das embarcações, prejudicando as atividades de pesquisas e ensino.

Diante do cenário que envolve a manutenção naval, podemos incluir as embarcações de Pesquisa e Ensino da FURG - Universidade Federal do Rio Grande. Observou-se algumas dificuldades enfrentadas para manter a consistência das pesquisas

devido a problemas técnicos frequentes das embarcações. Percebeu-se uma ausência de gestão da manutenção, tendo somente as manutenções corretivas realizadas, a falta de acompanhamento/controlado nos parâmetros operacionais entre outros fatores, que causam a indisponibilidade das embarcações e prejudicando o ensino e as pesquisas que dependem destas embarcações.

Visto o que foi mencionado anteriormente, uma proposta de melhoria para a disponibilidade das embarcações seria a implementação da Manutenção Produtiva Total (TPM) no setor de manutenção das Embarcações FURG. Entende-se que, a partir do TPM, os equipamentos poderão atingir maiores tempos de operação e aumentando a eficácia do sistema (RAOUF, 1994).

Fogliatto e Ribeiro (2011) apresentam um guia para a implementação do TPM, no qual objetiva um aumento da disponibilidade das máquinas.

O artigo em questão tem como objetivo elevar a disponibilidade das embarcações de pesquisa e ensino da frota da Universidade Federal do Rio Grande - FURG através da implementação da TPM. E através desta implementação, disseminar a cultura do TPM entre todos os envolvidos na operação/manutenção das embarcações, desenvolver um framework do TPM para a frota em questão, implementar a metodologia de TPM através do Framework desenvolvido e identificar os principais pontos para o sucesso desta implementação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O objetivo da manutenção é a garantia de confiabilidade e disponibilidade das funções de equipamentos e instalações, elevando a capacidade de suprir as necessidades de um serviço ou processo produtivo, prezando pela segurança de operadores, do meio ambiente e com os menores custos possíveis Kardec e Nascif (2013). As principais políticas de execução da manutenção que definem a forma de intervenção nos equipamentos são:

- **Manutenção Corretiva:** Manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida (ABNT.NBR 5462). Kardec e Nascif (2013) enfatizam que tal estratégia, se adotada de modo predominante, costuma apresentar problemas para o planejamento, sendo estes relativos à imprevisibilidade das falhas e aos custos associados.

- **Manutenção Preventiva:** Manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios de operação previstos, destinada a reduzir a probabilidade de falha/pane ou a degradação do funcionamento de um equipamento (ABNT.NBR 5462). Também pode ser definida com conjunto de procedimentos ou ações, que se baseiam em intervalos ideais de atuação, os quais, quando implementados, reduzem a necessidade de intervenções corretivas Viana (2013).
- **Manutenção Preditiva:** Manutenção com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão das condições mecânicas e térmicas, ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva (ABNT.NBR 5462). É a técnica de aplicação de métodos preditivos que possibilitam a prevenção de falhas em equipamentos pelo acompanhamento do ciclo de vida de componentes, através do monitoramento de parâmetros de condição ou desempenho Kardec e Nascif (2013). São parâmetros ou variáveis que podem ser monitoradas: Alinhamento, Vibração, Temperatura, Contaminação e Degradação de óleos lubrificantes, Ruído, Pressão e Ensaio não destrutivo.

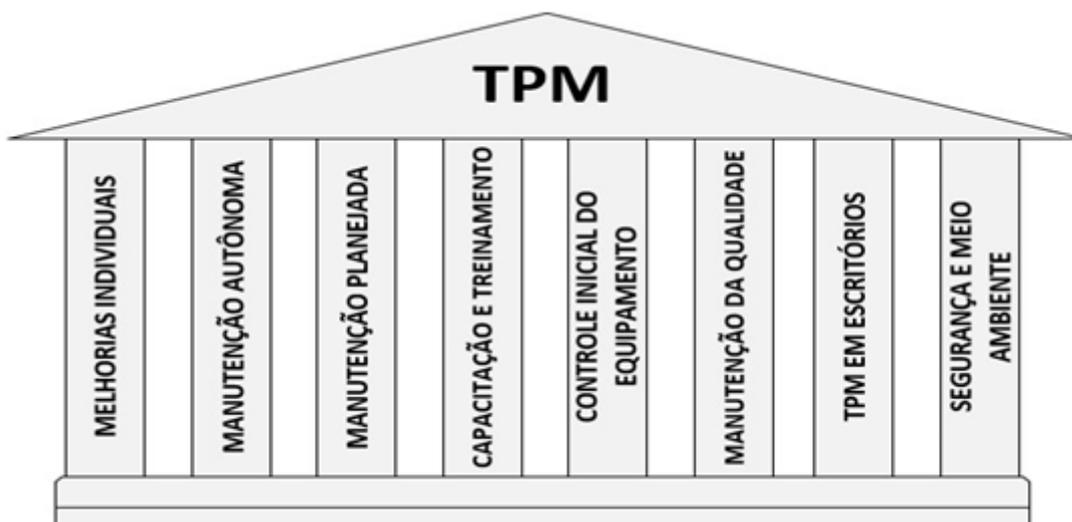
Os sistemas de Gestão de Manutenção, como o TPM, englobam estas políticas e outras atividades relacionadas para a busca de uma eficácia da área de manutenção.

2.1 MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (TPM)

A Manutenção Produtiva Total (TPM) tem como objetivo principal maximizar a eficiência e a utilização de equipamentos, eliminando desperdícios através de um sistema de manutenção proativo, através de uma estrutura onde haja o envolvimento de todos os colaboradores da empresa, desde a alta direção até os postos operacionais, ou seja, a gestão das máquinas por toda a organização (NAKAJIMA, 1988). E também pode ser definida como a implementação de uma cultura organizacional que prevê: quebra zero, defeito zero e acidente zero (MORAES, 2004).

O TPM com seus pilares pode ser representado pela Figura 1.

Figura 1 - Pilares do TPM



Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2013).

A seguir serão apresentadas as definições dos pilares utilizando como referência Kardec e Nascif (2013) e Takahashi (1993):

- **Melhorias Individuais:** promover melhorias individuais nos equipamentos, através de manutenções corretivas planejadas, aumentando, dessa forma, a eficiência do maquinário.
- **Manutenção Autônoma:** neste pilar, o operador possui papel protagonista, visto que será o responsável por realizar o controle operacional e reparos pontuais de maneira proativa, aplicando melhorias contínuas nos equipamentos.
- **Manutenção Planejada:** o objetivo de reduzir manutenções reativas, dessa forma se faz necessária a implementação de planos de manutenções preventivas que preveem reparos antes da quebra do equipamento, além disso a aplicação de técnicas preditivas, a fim de auxiliar na tomada de decisões, é parte fundamental do processo.
- **Capacitação e Treinamento:** o foco principal é a capacitação de todos os membros da equipe, através de conhecimentos técnicos, gerenciais e comportamentais.
- **Controle Inicial do Equipamento:** visa eliminar possíveis falhas de projetos, tendo como auxílio histórico de falhas de equipamentos semelhantes.
- **Manutenção da Qualidade:** neste pilar, busca-se estabelecer intervenções para atingir o defeito zero. O controle do produto final é utilizado como

parâmetro para possíveis manutenções nos equipamentos, a fim de garantir produtos de alta qualidade e manter os equipamentos em bom estado.

- **TPM em Escritórios:** objetiva o aumento da eficiência do setor administrativo e de apoio, evitando perdas, desperdícios e impactando no sistema de produção.
- **Segurança e Meio Ambiente:** possui relação com todos os pilares anteriormente citados, pois ações de melhorias em equipamentos e processos afetam no aumento da segurança e do controle ambiental. Além disso, objetiva estabelecer programas que visam a redução de riscos de trabalhos e de práticas conscientes e sustentáveis.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo são apresentados o cenário estudado, a caracterização da pesquisa e as etapas da mesma.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Com o intuito de estabelecer a caracterização da pesquisa científica, buscou-se na literatura os parâmetros de avaliação, de acordo com Gerhardt e Silveira (2009), e conforme os autores, verificou-se que o presente trabalho tem abordagem qualitativa, uma vez que, não tem sua origem em dados numéricos representativos. Além disso, com base nos critérios apresentados por Rodrigues (2006), determinou-se esta pesquisa como de natureza aplicada, pelo fato de que o estudo é efetuado em uma frota de embarcações de pesquisa, na qual busca-se solucionar o problema de indisponibilidade de manutenção. O método científico foi determinado como pesquisa-ação, uma vez que as análises realizadas são de natureza coletiva, e contemplam tanto sujeitos relacionados à Frota quanto os pesquisadores, de forma que o conhecimento necessário a ser produzido e a ação necessária a ser tomada, foram considerados em conjunto (CASSANDRE e GODOI, 2013).

3.2 OBJETO DE ESTUDO

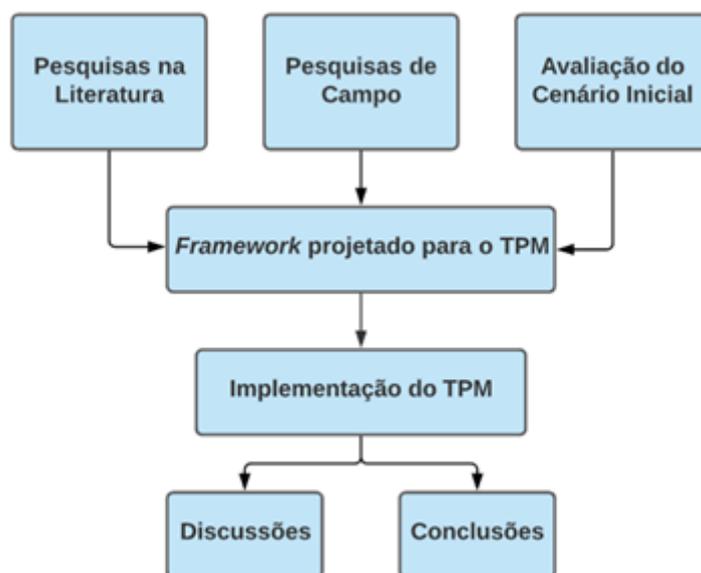
O presente trabalho tem como objeto o estudo da frota de embarcações da Universidade Federal do Rio Grande - FURG, localizada em Rio Grande-RS, sendo composta por três embarcações: Navio Oceanográfico Atlântico Sul (NOc-AS), Laboratório de Ensino Flutuante Ciências do Mar I (LEF-CMI), e pela Lancha de Pesquisa Larus (LPL). O setor de manutenção

foi escolhido como ponto de análise, visto que é um setor estratégico e de apoio à Coordenação da Frota, tendo influência direta na disponibilidade das embarcações.

3.3 PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS E ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO

A pesquisa foi organizada e dividida em sete etapas, duas delas de coleta (Pesquisas na literatura e de campo), além de cinco etapas de execução e análise (Avaliação do Cenário Inicial, *Framework* projetado para o TPM, Implementação do TPM, Discussões e Conclusões), sendo as mesmas expressas Figura 2.

Figura 2 - Procedimentos Coletas de Dados



Fonte: Autores.

Como primeira etapa, foram realizadas pesquisas na literatura, que serviram como base para o entendimento e para a sustentação dos objetivos do trabalho, sendo direcionadas aos conceitos fundamentais e a projetos de implementação da Manutenção Produtiva Total. buscou-se fundamentar o TPM conforme Fogliatto e Ribeiro (2011).

Em seguida à revisão na literatura, efetuou-se pesquisas de campo nas embarcações da Frota com o intuito de possibilitar a familiarização com tripulantes, manutentores, máquinas e equipamentos. Assim, foi possível levantar características e informações sobre as três embarcações, bem como realizar a formação do inventário de equipamentos, e identificar tripulantes e profissionais responsáveis pela manutenção.

Em posse das informações adquiridas no primeiro contato com as embarcações e em análises subsequentes, construiu-se uma avaliação acerca da manutenção nas embarcações da Frota, sendo evidenciada a ausência de políticas e práticas de gestão da manutenção e controle operacional das embarcações e disponibilidade reduzida.

Através das pesquisas de campos realizadas e informações o estágio atual adquiridas evidenciamos as principais anomalias constatadas nas avaliações iniciais, que concentraram-se nos propulsores/auxiliares e que prejudicam a operação das embarcações assim como indisponibilização para pesquisas.

Com o trabalho realizado nas etapas anteriores e utilizando como referência os 5 pilares principais do TPM: Manutenção Planejada; Manutenção Autônoma; Melhoria Específica; Controle Inicial; Educação, Treinamento e Segurança, foi possível a elaboração do *Framework* projetado para implementação do TPM na manutenção das embarcações. E o início da implementação da metodologia da manutenção produtiva total, conforme proposta de Fogliatto e Ribeiro (2011), conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Metodologia de Implementação do TPM Adotada

1) PREPARAÇÃO:
- Campanha de Lançamento;
- Organização para a implantação;
- Diretrizes e Metas;
- Uso do <i>software</i> de gestão da manutenção;
- Capacitação dos colaboradores;
2) INTRODUÇÃO:
- Início das atividades de melhoria dos equipamentos;
3) IMPLANTAÇÃO:
- Controle das intervenções e estoques de reposição;
- Manutenção autônoma;
- Manutenção planejada;
4) CONSOLIDAÇÃO DO PROGRAMA

Fonte: Fogliatto e Ribeiro (2011).

4 RESULTADOS

A partir da revisão da literatura, os resultados da pesquisa são apresentados a seguir, de modo a respeitar a cronologia das etapas da pesquisa (Figura 2), desenvolvidas pelo autor principal, no período em que desempenhou suas funções na Coordenação da Frota da Universidade Federal do Rio Grande – FURG (junho de 2018 a maio de 2021) (ZANIOL, 2021).

4.1 PESQUISAS DE CAMPO

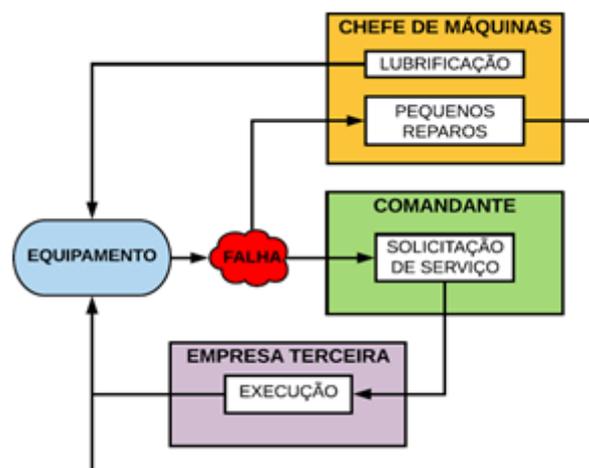
A Coordenação da Frota da FURG foi fundada com o intuito de ser o órgão responsável pela gestão do mais novo ativo da universidade na época, o Navio Oceanográfico Atlântico Sul (1973). Mais tarde, em 1978 foi incorporada a Lancha de Pesquisa Larus, e recentemente, em 2017, foi cedido pelo Ministério da Educação o Laboratório de Ensino Flutuante Ciências do Mar I. A manutenção das embarcações é

uma das atribuições do setor. Que, historicamente, o setor tem sido conduzido pelo Coordenador da Frota, que é auxiliado por três colaboradores que prestam apoio nas áreas administrativa e logística. Nesse formato, que vigorou até janeiro de 2018, a manutenção das embarcações era mais uma das atribuições de um setor sobrecarregado, caracterizando-se por ser essencialmente corretiva, com elevados custos de manutenção e baixa disponibilidade da frota.

4.2 AVALIAÇÃO DO CENÁRIO INICIAL

Em um primeiro contato com as embarcações, no segundo semestre de 2018, observou-se a inexistência de práticas de gestão de manutenção desde os primeiros anos de atuação da Frota. Ao avaliar-se os equipamentos das embarcações de maior tempo de serviço, evidenciou-se uma série de anomalias nos parâmetros de operação, vinculadas a falhas crônicas, perda de eficiência e disponibilidade reduzida (ZANIOL, 2021). Esse contexto de operação tinha como reflexo a dependência de manutenções corretivas, registradas nos diários de bordo. Dessa forma, sem planejamento definido para manutenções preventivas na frota, tal estratégia limitava-se à troca de lubrificantes e filtros, sendo os períodos de troca definidos pelos próprios operadores. Assim sendo, de modo a estabelecer um panorama geral do cenário encontrado na manutenção da frota, construiu-se o mapa mental a seguir, que exhibe a estruturação do setor em junho de 2018 (Figura 3).

Figura 3 - Cenário Inicial da Manutenção da Frota FURG



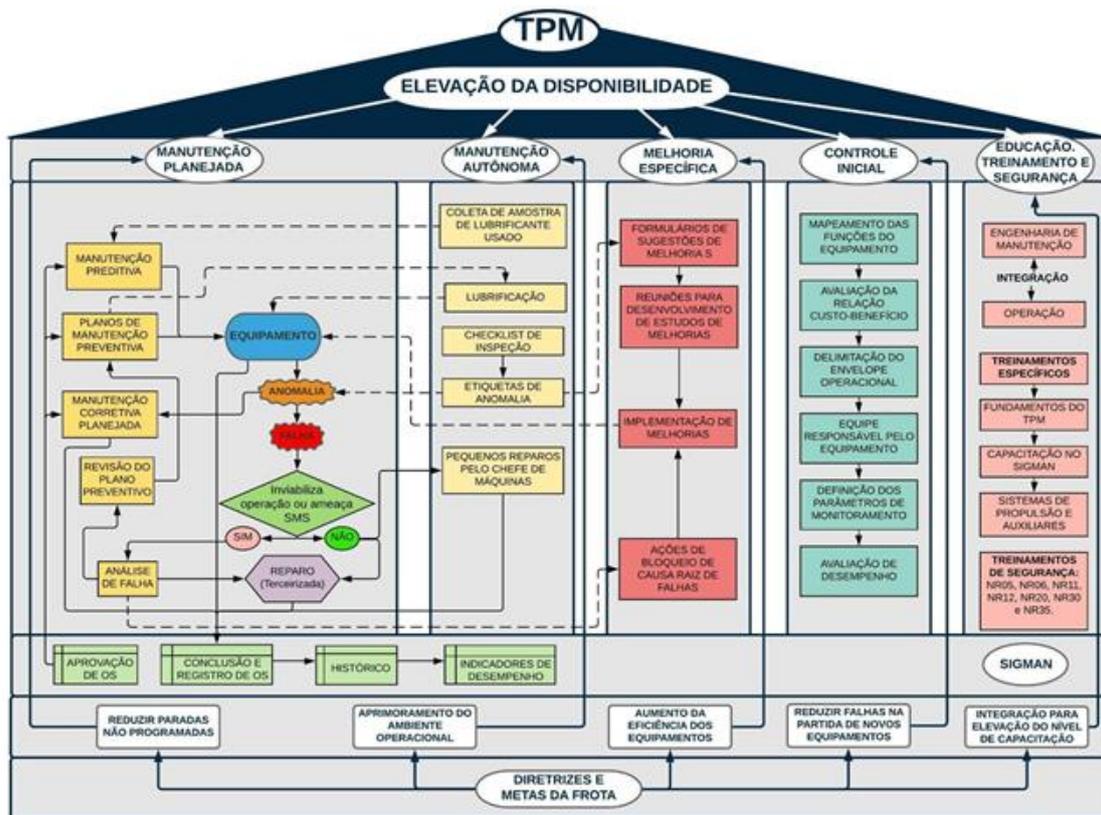
Fonte: Autores

4.3 FRAMEWORK PROJETADO PARA O TPM

Após mapeado o cenário inicial, identificadas as principais anomalias e avaliadas pesquisas correlatas, foi projetado um *framework* para a manutenção na frota, para um cenário

futuro com a implementação do TPM, sendo seu formato vinculado à representação gráfica clássica do TPM, na forma de pilares e alicerces constituintes de uma estrutura (Figura 4). Dessa forma, buscou-se incorporar os cinco pilares chaves do TPM (Nakajima, 1988) para a elevação da disponibilidade da Frota: Manutenção Planejada; Manutenção Autônoma; Melhoria Específica; Controle Inicial e Educação, Treinamento e Segurança.

Figura 4 - Framework Projetado para Manutenção da Frota



As diretrizes e metas do programa em conjunto com o software de gestão, na Figura 4, constituem os alicerces do programa, sobretudo porque são responsáveis, respectivamente, pelos objetivos do programa e pela ferramenta de gestão integrada da manutenção.

4.4 IMPLEMENTAÇÃO DO TPM

O pesquisador esteve à frente da implementação do *framework* projetado, vislumbrando como responsável pela supervisão dos trabalhos a bordo das embarcações e no escritório do Departamento de Engenharia de Manutenção (DEM). A seguir, são detalhados os resultados seguindo as fases da implementação, de acordo com o Quadro 1.

4.4.1 Preparação

Nesta fase foi realizada a apresentação e lançamento da campanha, onde a Coordenação da Frota de Embarcações da FURG iniciou a familiarização dos conceitos, técnicas e ferramentas utilizadas. Nesta etapa, deu-se início ao DEM, setor criado para o desenvolvimento e gestão do TPM. Após, todos os envolvidos diretamente na implementação e execução do TPM foram divididos em 3 grupos de trabalho, Melhorias Específicas, Manutenção Planejada e Desenvolvimento do Software, para otimizar o tempo e buscar os resultados em paralelo. Após, foram apresentadas as diretrizes e metas, conforme Quadro 2.

Quadro 2 - Pilares principais do TPM e suas metas.

Pilares	Metas
Manutenção Planejada	Reduzir paradas não programadas
Manutenção Autônoma	Aprimoramento do ambiente operacional
Melhoria Específica	Aumento da eficiência dos equipamentos
Controle Inicial	Reduzir falhas na partida de novos equipamentos
Educação e treinamento + segurança	Integração para elevação do nível de capacitação

Fonte: autores.

Foram aprovadas as diretrizes e metas e apresentado o cronograma geral de todo o projeto (Figura 5).

Figura 5 – Cronograma do Projeto

Etapas do Projeto	782 dias?	01/06/18 09:00	31/05/21 18:00
Pesquisas na literatura	87 dias	01/06/18 09:00	30/09/18 18:00
Pesquisa de campo	131 dias	01/10/18 09:00	31/03/19 18:00
Avaliação do cenário inicial	66 dias	01/04/19 09:00	30/06/19 18:00
Framework projetado	66 dias	01/07/19 09:00	30/09/19 18:00
Implementação do TPM	435 dias?	01/10/19 09:00	31/05/21 18:00
Preparação	66 dias	01/10/19 09:00	31/12/19 18:00
Campanha de lançamento	9 dias	01/10/19 09:00	11/10/19 18:00
Organização para implantação	14 dias	14/10/19 09:00	31/10/19 18:00
Diretrizes e metas	11 dias	01/11/19 09:00	15/11/19 18:00
Uso do software de gestão da manutenção	65 dias	01/10/19 18:00	31/12/19 18:00
Capacitação dos colaboradores	65 dias	01/10/19 18:00	31/12/19 18:00
Introdução	87 dias	01/01/20 09:00	30/04/20 18:00
Início das atividades de melhoria	87 dias	01/01/20 09:00	30/04/20 18:00
Implantação	282 dias	01/05/20 09:00	31/05/21 18:00
Controle das intervenções e estoques de reposição	282 dias	01/05/20 09:00	31/05/21 18:00
Manutenção Autônoma	282 dias	01/05/20 09:00	31/05/21 18:00
Manutenção Planejada	282 dias	01/05/20 09:00	31/05/21 18:00
Consolidação			

Fonte: Autores

Foram realizados treinamentos disseminando os fundamentos da Manutenção Produtiva Total, Equipamentos principais das embarcações, de acordo com o Quadro 3.

Quadro 3 - Capacitação de Colaboradores

Treinamento	Tópicos abordados	Profissionais Capacitados
Fundamentos da Manutenção Produtiva Total (Carga horária: 4 horas)	<ul style="list-style-type: none"> - Estratégias de manutenção; - Filosofia do TPM; - Pilares do TPM; - Metodologia de implementação. 	<ul style="list-style-type: none"> - Estagiários do DEM - Comandantes e Imediatos - Chefes de Máquinas - Pescadores
Sistemas de Propulsão e Auxiliares (Carga horária: 16 horas)	<ul style="list-style-type: none"> - Equipamentos; - Princípios de funcionamento; - Classificações e aplicações; - Manutenção. 	<ul style="list-style-type: none"> - Estagiários do DEM - Comandantes e Imediatos - Chefes de Máquinas
Capacitação no SIGMAN	Avançado: (Carga horária: 8 horas) <ul style="list-style-type: none"> - Gestão de ordens de serviço; - Geração de indicadores; - Controle de estoques; - Organização da árvore de equipamentos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Estagiários do DEM
	Básico: (Carga horária: 4 horas) <ul style="list-style-type: none"> - Familiarização com o sistema; - Solicitação de ordem de serviço; - Pedido de material; - Acompanhamento dos planos de manutenção; - <i>Report</i> de atividade de manutenção. 	<ul style="list-style-type: none"> - Comandantes e Imediatos - Chefes de Máquinas

Fonte: Autores

4.4.2 Introdução (Início do projeto TPM)

Nesta etapa foi priorizado o desenvolvimento/aplicação de melhorias nas embarcações e equipamentos, através de criação de formulários que identifiquem os problemas e ações de bloqueio da causa raiz de falha, que eliminem perda, avaliações das sugestões e que implementações de melhorias sejam adotadas para contribuir com a disponibilização das embarcações. As primeiras atividades de melhorias, dentre as quais cabe destacar: Adequação do sistema de combustível da LPL, ações de bloqueio de causas raízes oriundas de análises de falhas no Motor de Combustão Principal do NOc-AS; além da adequação do nível de desempenho dos óleos lubrificantes (KARANOVIC et al. (2018) dos motores propulsores e auxiliares do LEF-CMI.

4.4.3 Implantação

Na fase de implantação, foram implantados os pilares de Controle das intervenções e estoques de reposição, Manutenção Autônoma e Manutenção Planejada.

No pilar Controle das intervenções e estoques de reposição, realizou-se a formação do inventário de equipamentos das três embarcações, seguindo a lógica de tagueamento desenvolvida pelo DEM e montou-se as respectivas árvores de equipamentos. A partir da árvore de equipamentos, dimensionou-se, através dos planos preventivos dos equipamentos, o estoque necessário para manutenções preventivas e corretivas-planejadas. No estoque foi considerados os apontamentos de Alhouli (2017), onde as operações marítimas são diretamente afetadas no que se refere à logística de peças sobressalentes indisponíveis, fato que eleva os estoques a bordo e os custos dos planos preventivos.

Paralelamente aos processos citados anteriormente, estabeleceram-se procedimentos padrões para o controle inicial de novos equipamentos da Frota (Figura 6).

Figura 6 – Padrão de Controle Inicial: Compressor de ar

 UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE ESTAÇÃO DE APOIO ANTÁRTICO COORDENAÇÃO DE FROTA ATLÂNTICO SUL - AS		
CONTROLE INICIAL		
Equipamento: Compressor CMAV Fabricante: Motomil TAG: AS01-SMP-COM02		
FUNÇÃO DO EQUIPAMENTO: - Fornecer ar pressurizado para os sistema de aceleração do motor principal; - Fornecer ar pressurizado para os sistemas auxiliares de uso geral;		
AVALIAÇÃO CUSTO BENEFÍCIO: - Compressor Schulz obsoleto e não conforme com NR-13 - Custo para reforma e adequação: R\$ 3.500,00 - Compressor Motomil CMAV novo e em conformidade com NR-13 - Custo R\$ 4.000,00 Em virtude do elevado tempo de serviço do compressor atual, e da proximidade de valores, torna-se viável a aquisição do compressor CMAV, uma vez que o mesmo atende aos requisitos da norma.		
ENVELOPE OPERACIONAL: - Pressão máxima: 12 bar - Temperatura máxima: 40°C - Rotação: 1050 RPM - Corrente: 13,6 A	PARÂMETROS DE MONITORAMENTO: Diário: Pressão, Temperatura e Nível de óleo; Semanal: Presença de água no vaso de pressão; Mensal: Corrente; Anual: Inspeção interna do vaso de pressão.	
EQUIPE RESPONSÁVEL: - Operadores: Chefe de Máquinas e Segundo de Máquinas; - Manutentores: Terceirizados.		
AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO: - Os parâmetros de operação devem ser monitorados e quaisquer anomalias reportadas para o DEM		

Fonte: Autores

No pilar Manutenção Autônoma foram desenvolvidos aspectos chaves: padronização dos processos de lubrificação executados pelos chefes de máquinas, elaboração de *checklists* de inspeção autônoma (Figura 7) e etiquetas de anomalias.

Figura 7 – Checklist de Inspeção

 UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE COORDENAÇÃO DE FROTA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO NAVIO OCEANOGRÁFICO ATLÂNTICO SUL (AS) 				
PLANO DE MANUTENÇÃO DIÁRIO DO SISTEMA DE PROPULSÃO				
Equipamentos: <i>Motor de Combustão Principal TD MWM 440-8</i>		Legenda: <i>IC - Inspeccionado</i> <i>CN - Completado nível</i> <i>AN - Anormal</i>		Executante: Data: Horário de início do serviço: Horário de final do serviço: Horímetro atual do equipamento:
TAG: <i>AS01-SPP-MCP01</i>				
N.º	Componente	Intervenção	Descrição	Resultado
1	Motor	Inspeção	Checar nível de óleo do motor e completar, se necessário.	
2			Acionar a matraca dos filtros limpáveis	
3			Checar nível do fluido refrigerante e completar, se necessário.	
4			Inspeccionar vazamentos.	
5	Superalimentador	Inspeção	Controle diariamente o nível de óleo, devendo se encontrar entre a marca inferior e superior.	
6	Correias	Inspeção	Inspeccionar as correias de transmissão.	
7	Bomba de Água	Inspeção	Inspeccionar vedação das bombas de água.	
8	Filtro de Óleo	Execução	Drenar água dos filtros de óleo combustível.	
9	Filtro de Ar	Execução	Limpar poeira do filtro de ar.	

Fonte: Autores

No pilar Manutenção Planejada, no qual seu funcionamento é apresentado na Figura 4, inicia-se após aprovação de uma ordem de serviço (OS) e se dirige ao respectivo bloco, seja ele de manutenção preventiva, preditiva ou corretiva planejada; passando pelo equipamento em questão e encerrando com a conclusão da OS. Destaca-se ainda, a lógica para a realização de análises de falhas, a qual ocorre em função da criticidade (inviabiliza a operação ou ameaça a segurança, meio ambiente e saúde). Para o sucesso do pilar de manutenção planejada, foram definidas estratégias iniciais, tais como: elaboração e implementação de planos preventivos (Figura 8); padronização de procedimentos de metodologias de análise de falhas; realização de paradas programadas de manutenção e aplicação de técnicas preditivas.

Figura 8 – Plano de Manutenção

Nº	Atividade	Diária	Intervalos						A cada 5 anos
			Ao primeiro arranque	250 hrs	500 hrs	1000 hrs	2000 hrs	6000 hrs	
1	Sistema de lubrificação Verificação do nível de óleo	●	●						
2	Troca de óleo			●	●	●	●	●	
3	Limpeza do filtro de óleo centrífugo			●	●	●	●	●	
4	Substituição do filtro de óleo			●	●	●	●	●	
5	Sistema de arrefecimento Verificação do nível de líquido de arrefecimento	●							
6	Verificação de ânodos sacrificiais			●	●	●	●	●	
7	Verificação do impulsor da bomba de água salgada			●	●	●	●	●	
8	Verificação do anticongelante ou anticorrosivo no líquido de arrefecimento		●			●	●	●	
9	Limpeza do sistema de arrefecimento e troca de líquido de arrefecimento						●		●
10	Purificador de ar Leitura do vacuômetro	●							
11	Substituição do elemento do filtro					●	●		●
12	Substituição do cartucho de segurança					●	●		●
13	Sistema de combustível Verificação do nível de combustível	●	●						
14	Substituição do filtro de combustível				●	●	●		●
15	Informações diversas Verificação da correia de transmissão		●		●	●	●	●	
16	Verificação de vazamentos	●				●	●		
17	Verificação e ajuste das folgas das válvulas e injetores			●		●	●		

Fonte: Autores

4.4.4 Consolidação do Programa

Os êxitos obtidos e as dificuldades encontradas em cada pilar do TPM culminaram na última etapa do programa de implementação. No Quadro 4 são apresentados os pilares e o status de cada meta ao término da presente pesquisa.

Quadro 4 – Pilares do TPM, metas e status.

Pilares	Metas	Status
Manutenção Planejada	Reduzir paradas não programadas	Totalmente atingido
Manutenção Autônoma	Aprimoramento do ambiente operacional	Totalmente atingido
Melhoria Específica	Aumento da eficiência dos equipamentos	Parcialmente atingido
Controle Inicial	Reduzir falhas na partida de novos equipamentos	Parcialmente atingido
Educação e treinamento + segurança	Integração para elevação do nível de capacitação	Totalmente atingido

Fonte: autores.

Enfatizam-se como principais resultados do presente estudo a retomada da operação do NOc-AS, com ganhos significativos de disponibilidade da embarcação (de 45,19% para 96,97%), e a sustentação da disponibilidade do LEF-CMI e da LPL ao longo dos últimos anos, resultando na elevação do indicador da Frota da FURG de 30% para 92%, sendo essa calculada por meio da multiplicação simples entre os valores anuais de cada embarcação. A tabela 1 mostra a evolução da disponibilidade de cada embarcação

durante janeiro de 2018 e maio de 2021. A disponibilidade foi calculada: dias de mar trabalhados divididos por dias de mar planejados.

Tabela 1 – Comparativo de Disponibilidade (%) por Embarcação

	NOc-AS	LEF-CMI	Larus	TOTAL
2018	45,19%	90,48%	72,62%	30%
2019	77,50%	94,62%	80,00%	59%
2020	92,16%	100,00%	100,00%	92%
2021	96,97%	-	-	96,97%

Fonte: Autores.

Além da disponibilidade, pôde-se avaliar os custos de maneira global para o NOc-AS, por exemplo, em relação aos dias de mar não trabalhados. Tendo como valor médio para a diária da embarcação de R\$30.000 reais, estimou-se os valores não movimentados pela indisponibilidade da embarcação, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Estimativa de valores não movimentados

	2018	2019	2020	2021
Dias não trabalhados	74	9	4	1
Valor não movimentado	R\$2.220.000,00	R\$270.000,00	R\$120.000,00	R\$30.000,00

Fonte: autores.

5 DISCUSSÕES

O *framework* projetado para o caso em questão contempla especificidades e restrições particulares. Todavia, entende-se que sua estrutura pode ser utilizada como referência para o desenvolvimento do TPM em organizações similares. No Quadro 5 é discutido de forma resumida um comparativo entre cenários: antes e depois de cada pilar do *framework* implementado no período de desenvolvimento do trabalho que se iniciou no ano de 2018 até o período de maio de 2021.

Quadro 5 - Comparativo entre cenários

Pilar	Antes (2018)	Depois (2021)
Manutenção Planejada	Sistema de Manutenção Reativo Disponibilidade Frota = 30%	Sistema de Manutenção Proativo Disponibilidade Frota = 92%
Manutenção Autônoma	Sem padrão definido Cultura contrária ao TPM Moral das equipes comprometida	Checklists de inspeção Cultura alinhada ao TPM Moral das equipes restabelecida
Melhoria Específica	Predomínio de ações corretivas, sem espaço para desenvolvimento de melhorias.	Espaço para proposição de melhorias Análise técnica e participação de todos os colaboradores
Controle Inicial	Equipamentos em início de vida útil apresentavam falhas crônicas	Estabelecido como procedimento padrão Não evidenciadas falhas na operação do compressor CMAV
Educação, Treinamento e segurança.	Não estavam presentes na cultura de manutenção encontrada	Integração das áreas Capacitação das equipes Treinamentos de segurança

Fonte: Autores

5.1 FATORES DE SUCESSO

Com base nas discussões apresentadas anteriormente e nos resultados obtidos, é necessário apontar os fatores de sucesso que suportaram os estudos e possibilitaram as condições necessárias de implementação do *framework* projetado para o TPM na Frota:

- Apoio da alta gerência: Se deu através da autonomia para o desenvolvimento do projeto, da valorização dos esforços das equipes e do aporte financeiro para execução de manutenções de rotina e de paradas programadas. Este fator corrobora a importância apontada por Rodrigues e Hatakeyama (2006).
- Dedicção das equipes: Pelo entendimento da importância do papel de cada colaborador para o sucesso do programa; da participação e comprometimento dos membros com os treinamentos; além do empenho dos mesmos na realização de suas atribuições. Este fator de sucesso corrobora e complementa a preocupação de Suzaki (1987).
- Estruturação dos pilares de manutenção planejada e autônoma: Estabelecida devido ao pronto atendimento de anomalias em equipamentos críticos; à elaboração e implementação dos planos preventivos; à previsibilidade oportunizada pelas técnicas preditivas utilizadas; à lubrificação autônoma e aos checklists de inspeção. Este fator de sucesso contribui a literatura pesquisada.

Os fatores de sucesso identificados para o TPM na Frota vão de encontro a pesquisa desenvolvida por Gupta et al. (2015), à qual enfatiza que a implementação do TPM requer esforços consistentes de todos os funcionários, desde a alta administração até os operadores de chão de fábrica.

Entende-se que a estruturação dos pilares de manutenção planejada e autônoma está alinhada ao terceiro fator de sucesso exposto pelos autores, uma vez que foi garantida por meio da aplicação do *framework* desenvolvido para o TPM, tendo sua eficácia medida pelos resultados obtidos com o presente trabalho.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

De acordo com o objetivo geral deste trabalho, que é elevar a disponibilidade das embarcações de pesquisa e ensino da frota da Universidade Federal do Rio Grande - FURG, verificou-se que o mesmo foi atingido plenamente, com o ganho de disponibilidade da frota, que variou de 30% em junho de 2018 (início da pesquisa), a 92% em maio de 2021.

Com a disseminação da cultura do TPM, foi possível aprimorar o ambiente operacional, tendo como base o pilar de manutenção autônoma e a integração entre as áreas de engenharia, manutenção e operação. O envolvimento de todas as áreas na gestão das máquinas trouxe como benefícios diretos para o programa: a otimização das atividades de planejamento da manutenção, a elevação dos níveis de capacitação das equipes, tanto tecnicamente como em aspectos de segurança; a padronização dos procedimentos de manutenção autônoma, aproximada da realidade da operação; além do desenvolvimento conjunto de estudos de melhoria e análise de falhas.

Dessa forma, entende-se que com a aplicação do *framework* foram oportunizados avanços representativos na gestão da manutenção na Frota da FURG, trazendo ganhos tangíveis, e intangíveis, tais como: aprimoramento do ambiente operacional por meio da mudança da cultura embarcada e capacitação dos colaboradores com base na integração entre as áreas.

Como sugestão para trabalhos futuros identificou-se a consolidação do TPM na empresa em questão, bem como a implementação dos pilares restantes do TPM (Manutenção da Qualidade, TPM em escritórios e Segurança, Meio Ambiente e Saúde).

REFERÊNCIAS

- ALHOULI, Y.; ELHAG, T.; ALARDHI, M.; ALAZEMI, J. **Development of Conceptual Framework for Ship Maintenance Performance Measurements**. Journal of Mechanical Engineering and Automation, Volume 7, Number 3, páginas 63-71, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT **NBR 5462**: 1994. Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- CASSANDRE, M. P.; GODOI, C. K. **Metodologias intervencionistas da teoria da atividade histórico-cultural: abrindo possibilidades para os estudos organizacionais**. Revista Gestão Organizacional, v. 6, n. 3, p. 11-23, 2013.
- FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. São Paulo: Campus; Elsevier, 2011.
- GERHADT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: Ufrgs, 2009. 120 p.
- GUPTA, P., S. VARDHAN, and M. S. AL HAQUE. **Study of Success Factors of TPM: Implementation in Indian Industry towards Operational Excellence: An Overview**. Industrial Engineering and Operations Management, 2015.
- KARANOVIĆ, V. V., JOCANOVIĆ, M. T., WAKIRU, J. M., & OROŠNJAK, M. D. **Benefits of lubricant oil analysis for maintenance decision support: A case study**. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 393(1), 2018.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2013.
- MORAES, P. H. A. **Manutenção Produtiva Total: estudo de caso em uma empresa automobilística**. Departamento de Economia, Contabilidade e Administração - ECA da Universidade de Taubaté, 2014, 34 p. (Dissertação de Mestrado)
- NAKAJIMA, S. **Introduction to TPM**. Productivity Press. Portland: OR, 1988.
- RAOUF, A. **Improving Capital Productivity through Maintenance**, International Journal of Operations & Production Management, Vol. 14, p. 44 -52, 1994.
- RODRIGUES, A. J. **Metodologia científica: completo e essencial para a vida universitária**. Avercamp, 2006.
- RODRIGUES, M.; HATAKEYAMA, K.; **Analysis of the fall of TPM in companies**, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 176, p. 276-279, 2006.
- SUZAKI, K. **The new manufacturing challenge: Techniques for continuous improvement**. New York, NY: The Free Press, 1987.
- TAKAHASHI, Y.; OSADA, T. **Manutenção Produtiva Total**. 2.ed. São Paulo: Instituto IMAN, 2000.
- TAM, K.; JONES, K. **Cyber-Risk Assessment For Autonomous Ships**. 2017.

TINGA, T.; TIDDENS, W, AMORALIS, F.; POLITIS, M. **Predictive Maintenance of Maritime Systems: Models and Challenges**. 27th European Safety and Reliability Conference (ESREL 2017), Portoroz, Slovenia, 2017.

VIANA, H. R. G. PCM, **Planejamento e Controle de Manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2013.

ZANIOL, B. R. **Uso da Manutenção Produtiva Total (TPM) para Elevação aa Disponibilidade de Embarcações de Pesquisa E Ensino**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande – FURG. Rio Grande, p. 82. 2021.