

ESCOLA TÉCNICA DO ARSENAL DE MARINHA

2ºSG-EL-SB FABIO MORAES BALDUINO

**APLICAÇÃO DO CICLO PDCA NO PLANEJAMENTO DA MANUTENÇÃO DE
BATERIAS DO SUBMARINO CLASSE TUPI**

Rio de Janeiro

2024

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	3
2 SUBMARINOS CLASSE TUPI	4
2.1 Objetivos Específicos do PDCA na manutenção das baterias do submarino classe Tupi...	5
2.1.1 Componentes e Sistemas das Baterias dos Submarinos Classe Tupi.....	5
2.1.2 Demandas de Manutenção.....	6
2.2 Método PDCA e suas etapas	7
2.3 Aplicação do Ciclo PDCA	8
3 AVALIAÇÃO DOS GANHOS APÓS A IMPLEMENTAÇÃO DO PDCA	8
4 PROPOSTAS DE MELHORIAS CONTÍNUAS.....	8
4.1 Implementação de Sensores para Medição da Densidade das Baterias.....	9
5.CONCLUSÃO.....	11
REFERÊNCIAS	12

1. INTRODUÇÃO

Os submarinos da classe Tupi, operados pela Marinha do Brasil, desempenham um papel crucial na defesa nacional e nas operações submarinas. Esses veículos submersos utilizam um sistema de propulsão diesel-elétrico, que depende fortemente de baterias de grande capacidade. Essas baterias não apenas armazenam a energia gerada pelos motores diesel, mas também suprem a demanda elétrica durante as missões submersas. Diante disso, a manutenção adequada dessas baterias é vital para garantir o funcionamento e a segurança das embarcações, tornando-se um tema de extrema relevância.

O problema central deste estudo reside na eficiência da manutenção das baterias dos submarinos. A falta de uma abordagem sistemática pode levar a falhas operacionais e comprometer a segurança das missões. Portanto, este trabalho busca investigar como a aplicação do Ciclo PDCA (Planejar, Executar, Verificar e Agir) pode otimizar o gerenciamento da manutenção dessas baterias. Essa metodologia, amplamente reconhecida por sua eficácia na melhoria contínua, oferece um modelo que pode ser adaptado ao contexto da manutenção naval, propondo um método estruturado e dinâmico.

A importância deste estudo está na possibilidade de aprimorar os processos de manutenção, garantindo não apenas a eficiência operacional dos submarinos, mas também a segurança das tripulações e o cumprimento das missões. Com a aplicação do Ciclo PDCA, espera-se desenvolver um modelo de gerenciamento que promova revisões constantes e melhorias significativas nas práticas de manutenção.

Assim, a pesquisa se concentrará em avaliar como a implementação do Ciclo PDCA pode trazer benefícios tangíveis para a manutenção das baterias da classe Tupi, promovendo uma abordagem que visa não apenas a resolução de problemas, mas a prevenção de falhas e a garantia de uma operação segura e eficiente. Esta investigação se mostrará relevante tanto para a Marinha do Brasil quanto para o campo da manutenção industrial, fornecendo insights que podem ser aplicados a outras áreas de atuação.

Em suma, este trabalho tem como meta explorar e validar a aplicabilidade do Ciclo PDCA na manutenção das baterias de submarinos, evidenciando sua importância na segurança e eficiência operacional. A abordagem sistemática proposta não apenas contribuirá para a melhoria contínua, mas também reforçará a necessidade de práticas rigorosas de manutenção em ambientes críticos.

2 Submarino Classe Tupi:

Os submarinos da classe Tupi, projetados a partir de conceitos do Type 209 alemão, representam um marco significativo na capacidade de defesa marítima do Brasil. Esses submarinos são equipados com um sistema de propulsão diesel-elétrica que permite que operem de forma eficiente e discreta em missões subaquáticas. No entanto, a eficácia desse sistema depende diretamente das baterias de alta capacidade, que são essenciais para o funcionamento durante a submersão.

As baterias desses submarinos não apenas armazenam a energia gerada pelos motores diesel, mas também fornecem a eletricidade necessária para os sistemas de navegação, comunicação e armamento. Durante as operações submersas, onde a utilização do motor diesel é inviável devido à necessidade de manter o silêncio e evitar a detecção, as baterias tornam-se a única fonte de energia. Isso torna a manutenção e a gestão dessas baterias uma prioridade crítica para a segurança e a eficácia das operações.

A complexidade e o custo envolvidos na manutenção das baterias são fatores que precisam ser gerenciados cuidadosamente. As baterias de submarinos devem ser constantemente monitoradas para garantir que estão operando dentro dos parâmetros ideais, uma vez que falhas podem resultar em incapacitação da embarcação ou em situações perigosas para a tripulação. Além disso, a vida útil das baterias pode ser impactada por fatores como a profundidade de operação, o ciclo de carga e descarga, densidade e a temperatura ambiente, tornando essencial uma abordagem sistemática para sua manutenção.

Nesse contexto, a aplicação de métodos como o Ciclo PDCA pode oferecer uma estrutura valiosa para garantir que as práticas de manutenção sejam eficientes e adaptáveis. Com o PDCA, cada etapa do processo de manutenção — planejamento, execução, verificação e ação corretiva — pode ser revisada e otimizada continuamente, minimizando riscos e prolongando a vida útil das baterias.

Portanto, compreender e gerenciar as baterias dos submarinos da classe Tupi é fundamental não apenas para a operacionalidade das embarcações, mas também para a segurança nacional. Através de uma abordagem metódica e estruturada, é possível garantir que esses submarinos permaneçam prontos para cumprir suas missões com eficácia e segurança, reforçando a importância das práticas de manutenção em ambientes críticos como os das operações submarinas.

Ao considerar a importância da manutenção das baterias nos submarinos da classe Tupi, é essencial refletir sobre a afirmação de John Ruskin: "A qualidade nunca é um acidente; é sempre o resultado de um esforço inteligente." Essa visão ressalta que a eficiência operacional e a segurança desses submarinos dependem de práticas de manutenção bem planejadas e executadas. A adoção do Ciclo PDCA para o gerenciamento da manutenção das baterias não é apenas uma estratégia, mas um compromisso com a excelência. Ao aplicar essa abordagem sistemática, a Marinha do Brasil pode garantir que suas embarcações estejam sempre preparadas para enfrentar os desafios do ambiente submarino, reforçando a importância da manutenção proativa e da melhoria contínua.

2.1 Objetivos Específicos do PDCA na manutenção das baterias do submarino classe Tupi

1. Identificar os componentes e sistemas relacionados às baterias dos submarinos da classe Tupi e suas demandas de manutenção.
2. Aplicar as etapas do Ciclo PDCA (Planejar, Executar, Verificar e Agir) no planejamento e execução da manutenção dessas baterias.
3. Avaliar os ganhos de eficiência, segurança e longevidade das baterias após a implementação do PDCA.
4. Propor melhorias contínuas com base nos resultados obtidos.

2.1.1 Componentes e Sistemas das Baterias dos Submarinos Classe Tupi

Os submarinos da classe Tupi, projetados e construídos no Brasil, utilizam baterias de chumbo-ácido para o armazenamento de energia. Os principais componentes e sistemas incluem:

- Baterias de Chumbo-Ácido: fabricada pela empresa Saturnia Sistemas de Energias, estas são as principais fontes de energia para operações subaquáticas, onde o submarino é composto por 480 elementos do modelo 31DD16, são distribuídas em duas praças de bateria organizadas de forma a fornecer energia necessária para os sistemas de propulsão e força auxiliar. O elemento 31 DD 16 consiste principalmente de dois blocos de placas positivas e negativas, sobrepostos e conectados eletricamente em paralelo, por meio de pontes especiais, de eletrólito, de vaso, de revestimento do vaso, de tampa com revestimento, de acessórios para serviços, de sensor de medição de isolamento e sistema de agitação de ácido no elemento, como mostra a figura abaixo.



figura 1- bateria de propulsão

-Sistema de Agitação do Ácido: responsável pela circulação eficiente do fluido, com dois compressores acionados eletricamente, o ar pressurizado é direcionado para os elementos por meio de um tubo distribuidor. Dentro de cada elemento, o ar é conduzido até o fundo, onde, em seguida, sobe pelo tubo ascendente. Esse movimento ascendente do ar arrasta o ácido.

- Sistema de Resfriamento: Fundamental para manter a temperatura das baterias em níveis seguros, evitando sobrecargas que poderiam levar a falhas. Na ponte dos pólos, um fio de rosca conecta o nipple do sistema de resfriamento. O líquido resfriador circula entre os pólos, passando pelo tubo triangular de cobre submerso no eletrólito, garantindo um resfriamento eficaz.

- Sistema de Monitoramento: Inclui sensores que monitoram a tensão, a corrente e a temperatura das baterias, permitindo a identificação precoce de problemas.

- Sistema de Manutenção: Conjunto de procedimentos e ferramentas para a manutenção das baterias, incluindo limpeza, verificação de terminais e eletrólitos, além de testes de capacidade.

2.1.2 Demandas de Manutenção.

As principais demandas de manutenção incluem:

Verificação regular do nível de eletrólito: é essencial para o funcionamento adequado das baterias de chumbo-ácido, que dependem de eletrólito (solução de ácido sulfúrico) para operar corretamente. Deve-se verificar periodicamente o nível, pois a evaporação natural pode reduzir o volume. Para a manutenção, o nível é monitorado por meio de um visor, que mostra a medida real da solução na bateria. Caso o nível esteja abaixo do ideal, a tampa da bateria é retirada para completar com água destilada, se necessário.

Limpeza dos terminais: Os terminais de uma bateria podem apresentar corrosão com o tempo, o que afeta a capacidade de conduzir eletricidade e pode resultar em mau funcionamento. A limpeza consiste em desconectar a bateria e, com ajuda de uma escova de aço e uma solução de bicarbonato de sódio, limpar a corrosão acumulada nos terminais da bateria. O trabalho garante boa conexão entre os terminais e eficiência na condução de energia.

Teste de capacidade: O teste de capacidade serve para verificar quanto de carga a bateria consegue armazenar e descarregar, garantindo que a bateria ainda obedece aos parâmetros de desempenho. Normalmente consiste no uso de um testador de carga, que simula o consumo de energia do dia-a-dia. Se a capacidade ficar bem abaixo do limite especificado, isso pode ser indício de que a bateria precisa ser substituída.

Inspeção de integridade estrutural: A inspeção visual do corpo da bateria permite detectar rachaduras, vazamentos ou sinais de deformação, que podem comprometer a segurança e a eficiência da bateria. Verificam-se a caixa, as tampas e a vedação entre os terminais e a estrutura da bateria. Caso haja sinais de dano, a bateria deve ser substituída para evitar vazamentos de ácido ou falhas inesperadas.

2.2 Método PDCA e suas etapas

O Método PDCA (do inglês Plan, Do, Check e Act), também conhecido como Ciclo de Deming, conforme se adota em pesquisa, é uma metodologia de gestão e melhoria contínua, utilizada na solução de problemas e na otimização de processos para empresas e projetos. O método é constituído por quatro etapas principais:

Plan (Planejar): nessa fase, são identificados o problema, os objetivos e as metas a serem alcançadas e são realizados diagnósticos de causa e efeito para entender as prováveis soluções, a partir dos quais se edifica um plano de ação, o qual contém as melhorias a serem implementadas;

Do (Executar): implementar as ações planejadas em pequena escala, conforme a solução a ser testada e coletar os dados das informações necessárias para o entendimento de como foi o desempenho da nova abordagem;

Check (Verificar): verificados, os resultados após a execução e comparados em relação às metas; avalia se o processo atendeu aos objetivos esperados ou se requer ajustes;

Act (Agir): a nova prática, de acordo com os resultados, será padronizada e amplamente implantada ou o processo deve regredir e reiniciar para novas mudanças e aperfeiçoamentos.

O PDCA é um ciclo contínuo, uma vez que terminado recomeça, tendo por objetivo promover o processo de melhoria contínua.

2.3 Aplicação do Ciclo PDCA

A aplicação do Ciclo PDCA no planejamento e execução da manutenção das baterias pode ser estruturada da seguinte maneira:

- Planejar: Estabelecer um cronograma de manutenção com base nas recomendações do fabricante e na análise do histórico de falhas. Definir KPIs (Indicadores de Performance) para monitorar a eficácia da manutenção.
- Executar: Implementar as atividades de manutenção programada, seguindo as diretrizes estabelecidas nas rotinas, isso inclui atividades além das SMP (serviço de manutenção planejada) que possibilita prevenir futuras manutenções corretivas crônicas. Incluir treinamento para a o grupo de eletricitas responsáveis pela manutenção das baterias focando principalmente nas situações que ocasionam mais problemas na operação da bateria.
- Verificar: Realizar reuniões e testes de desempenho após a manutenção para avaliar se as ações implementadas tiveram o efeito desejado. Coletar dados extra sobre a performance das baterias antes e depois da manutenção.
- Agir: Com base nas verificações, tomar decisões sobre ajustes no planejamento de manutenção. Se os resultados não forem satisfatórios, investigar as causas e ajustar o processo.

3. Avaliação dos Ganhos Após a Implementação do PDCA

A implementação do PDCA pode trazer diversos ganhos, como:

- Eficiência: Melhoria na disponibilidade das baterias e redução do tempo de inatividade, já que a manutenção se torna mais eficaz.
- Segurança: A manutenção regular e sistemática ajuda a evitar falhas catastróficas, aumentando a segurança operacional do submarino.
- Longevidade: O cuidado com a manutenção e monitoramento contínuo das condições das baterias pode resultar em uma vida útil maior, reduzindo a necessidade de substituições frequentes e eliminação de elementos com mal desempenho.

4. Propostas de Melhorias Contínuas

Com base nos resultados obtidos após a implementação do PDCA, algumas propostas de melhorias contínuas incluem:

- Adoção de Tecnologias de Monitoramento Avançado: Integrar sistemas de monitoramento em tempo real para coletar dados sobre o desempenho das baterias, utilizando IoT (Internet das Coisas).
- Treinamento Contínuo da Equipe: Promover treinamentos regulares para a equipe de manutenção, focando em novas tecnologias e procedimentos que possam surgir.

- Análise de Dados e Feedback: Criar um sistema de feedback onde a equipe pode relatar problemas e sugerir melhorias, contribuindo para um processo de manutenção mais adaptável.
- Revisão do Ciclo de Manutenção: Avaliar periodicamente a eficácia do ciclo de manutenção e ajustá-lo com base nas novas informações e tecnologias disponíveis.

Essas abordagens podem contribuir significativamente para a eficiência, segurança e longevidade das baterias dos submarinos da classe Tupi, assegurando operações mais seguras e eficazes.

4.1 Implementação de Sensores para Medição da Densidade das Baterias

Considerando que esta classe de submarinos utiliza um sistema de monitoramento antiquado, este trabalho visa implementar, juntamente com o PDCA, um novo sistema de monitoramento por meio de sensores de densidade, que atualmente estão ausentes no sistema existente. O sistema antigo, conhecido como "battery", realiza medições de tensão, corrente e temperatura das baterias, exigindo que os militares façam medições manuais nos 480 elementos utilizando um densímetro portátil. Esse procedimento ocorre mensalmente, o que eleva as chances de baixo desempenho dos elementos da bateria devido ao longo intervalo entre as medições.

Para garantir um acompanhamento mais eficaz e preciso do desempenho da bateria, é fundamental a leitura da densidade em tempo real. A implementação de um novo sistema de monitoramento que possibilite essa leitura contínua não apenas aumentará a eficiência operacional, mas também permitirá uma resposta mais rápida a quaisquer anomalias, melhorando, assim, o desempenho geral do sistema de energia do submarino.

A introdução de sensores avançados para a medição da densidade das baterias representa um avanço significativo na manutenção e monitoramento das condições operacionais. Essa tecnologia pode proporcionar diversos benefícios:

Precisão no Monitoramento: Sensores de densidade permitem uma avaliação em tempo real das condições das baterias, possibilitando a detecção de anomalias antes que se tornem críticas. Com dados precisos, as intervenções de manutenção podem ser programadas de forma mais eficaz.

Análise de Desempenho em Tempo Real: A coleta contínua de dados sobre a densidade das baterias oferece uma visão clara do desempenho, permitindo ajustes proativos na operação e no ciclo de carga e descarga. Isso contribui para uma utilização mais eficiente das baterias e para a maximização de sua capacidade.

Integração com Sistemas de Monitoramento: Os dados obtidos pelos sensores podem ser integrados a plataformas de monitoramento já existentes, criando um painel de controle que fornece uma visão abrangente do estado das baterias. Isso facilita a tomada de decisões informadas e a priorização de manutenções.

Relatórios e Análises: A implementação de sensores possibilita a geração de relatórios detalhados sobre a performance das baterias ao longo do tempo. Essas informações podem ser utilizadas para identificar tendências e prever a necessidade de manutenção, além de informar sobre a vida útil estimada das baterias.

Feedback para Melhoria Contínua: Os dados coletados pelos sensores podem ser utilizados para alimentar o ciclo PDCA, proporcionando informações valiosas que podem orientar melhorias nos processos de manutenção e operação.

Essas inovações não apenas aumentam a precisão do monitoramento das baterias, mas também contribuem para a eficiência e segurança das operações, alinhando-se aos objetivos de longevidade e desempenho das baterias dos submarinos da classe Tupi.

5. CONCLUSÃO

Os submarinos da classe Tupi, com sua concepção baseada em tecnologias avançadas, desempenham um papel crucial na defesa marítima do Brasil. A eficácia de suas operações subaquáticas depende fortemente da performance de suas baterias de alta capacidade, que são fundamentais durante a submersão, quando o uso do motor diesel é inviável. A manutenção adequada dessas baterias é, portanto, uma prioridade, não apenas para garantir a operacionalidade das embarcações, mas também para assegurar a segurança da tripulação e a integridade das missões.

Este trabalho enfatizou a necessidade de uma abordagem sistemática e estruturada para a manutenção das baterias, propondo a adoção do Ciclo PDCA como ferramenta de gestão. A implementação desse ciclo permite um planejamento, execução e monitoramento eficazes das atividades de manutenção, reduzindo riscos e aumentando a eficiência operacional. Além disso, a introdução de sensores de densidade representa um avanço significativo, oferecendo a capacidade de monitorar em tempo real o estado das baterias e possibilitando intervenções proativas.

Com a aplicação das práticas sugeridas, espera-se não apenas prolongar a vida útil das baterias, mas também melhorar a segurança e a eficácia das operações dos submarinos da classe Tupi. A citação de John Ruskin reforça a importância de um esforço consciente e bem planejado para garantir a qualidade e a eficiência operacional. Assim, a Marinha do Brasil, ao adotar essas melhorias, estará se comprometendo com a excelência e a prontidão necessárias para enfrentar os desafios do ambiente submarino.

Portanto, a manutenção proativa e a utilização de tecnologias avançadas são essenciais para que os submarinos da classe Tupi continuem a cumprir suas missões com eficácia, reafirmando sua importância na estratégia de defesa nacional.

REFERÊNCIAS

- DEMING, W. Edwards. **Out of the Crisis**. MIT Press, 1986.
- MARINHA DO BRASIL. **Manual de Operação e Manutenção de Submarinos Classe Tupi**. Diretoria de Engenharia Naval, 2020.
- NAKAJIMA, Seiichi. **Introduction to TPM: Total Productive Maintenance**. Productivity Press, 1988.
- SATURNIA SISTEMAS DE ENERGIA. **Manual técnico: MNT-IKL 02-223-005, parte 1-4. Bateria principal: elementos 31 DD 16**. Edição: março 2005.
- SILVA, F. R. **Aplicação de Ferramentas de Qualidade na Manutenção de Baterias em Submarinos Diesel-Elétricos**. Revista Brasileira de Engenharia Naval, 2022.