



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
DIVISÃO DE ENSINO  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 3º/2024

LEONARDO CAMARGO DE HOLANDA CAVALCANTI, Cap Eng

**Manutenção preditiva, uma forma de elevar a prontidão operacional dos radares da  
Força Aérea Brasileira**

Rio de Janeiro

2024

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
DIVISÃO DE ENSINO  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 3º/2024

LEONARDO CAMARGO DE HOLANDA CAVALCANTI, Cap Eng

**Manutenção preditiva, uma forma de elevar a prontidão operacional dos radares da  
Força Aérea Brasileira**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Liderança com Ênfase em Gestão no COMAER.

Linha de Pesquisa: Segurança de voo

Orientador: Daniel Rodrigues Figueiredo, Maj Av

Rio de Janeiro

2024

LEONARDO CAMARGO DE HOLANDA CAVALCANTI, Cap Eng

**Manutenção preditiva, uma forma de elevar a prontidão operacional dos radares da  
Força Aérea Brasileira**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Escola  
de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica.

Aprovado por:

---

Presidente, Daniel Rodrigues **Figueiredo**, Maj Av  
EAOAR

---

**Mellina** dos Santos Ferreira Barbosa, Maj Int  
EAOAR

Rio de Janeiro

2024

## RESUMO

Os radares da família STAR/RSM, integrados ao Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB), enfrentam desafios relevantes devido às quebras do rolamento principal do mecanismo de giro da antena. Essas falhas acarretam elevados custos com manutenções corretivas de urgência e comprometem a continuidade das operações, resultando em períodos de inatividade. Para mitigar esse problema, este ensaio sugere a implementação de um sistema de monitoramento e análise de vibrações, que permitiria a detecção antecipada de falhas e a realização de manutenções preditivas. Essa abordagem transformaria a manutenção de uma prática reativa para um processo proativo, garantindo intervenções antes que problemas críticos surjam. A adoção desse sistema traria benefícios expressivos, como a diminuição dos custos, prevenindo quebras inesperadas e reduzindo os gastos com reparos emergenciais. Outro ponto positivo seria o aumento da disponibilidade dos equipamentos, uma vez que as substituições de rolamentos ocorreriam antes das falhas, evitando interrupções prolongadas. Assim, a implementação desse sistema garantiria operações radares mais eficientes e confiáveis, o que contribuiria diretamente para a elevação da prontidão operacional da Força Aérea, gerando um impacto positivo para o COMAER e a sociedade.

**Palavras-chave:** radar; manutenção preditiva; análise de vibrações; prontidão operacional.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB) conta com 115 estações de radar de vigilância, distribuídas por todo o território nacional. Cada uma dessas estações é composta por diversos componentes mecânicos, entre os quais se destaca o rolamento principal, parte essencial do mecanismo de giro da antena. Por vezes, esse mecanismo pode apresentar problemas que comprometem o funcionamento do radar, sendo as vibrações no rolamento principal uma das principais causas. Essas oscilações podem sinalizar desgastes, desalinhamentos ou falhas internas, o que pode resultar na quebra do rolamento e consequentemente impactos operacionais no tráfego aéreo e a segurança em voo devido à interrupção das operações radar. De acordo com o levantamento realizado pela Seção de Mecânica Radar do PAME-RJ, nos últimos cinco anos, ocorreram 12 (doze) quebras de rolamentos principais, dessas, 10 (dez) foram nos radares da família STAR/RSM. Atualmente, das 115 estações existentes, 25 pertencem a essa família.

A avaliação de vibrações é o melhor indicador para analisar as condições dinâmicas de falhas em rolamentos (Lenzi, 1991). A medição de vibrações em superfícies de máquinas rotativas possibilita identificar e diagnosticar falhas nesses equipamentos (Gerges; Nunes, 1996). Desse modo, este ensaio acadêmico defende a implementação de um sistema de análise e monitoramento de vibrações nos rolamentos principais dos mecanismos de giro dos radares de fabricação Thales, da família STAR / RSM.

Levando em consideração que a maior parte das quebras de rolamentos ocorreram nos radares da família STAR / RSM, a tese se fundamenta no argumento de que a detecção prévia de falhas nestes radares, reduziria os custos de manutenção diretos, com mão de obra e peças de reposição, os indiretos, devido ao maior consumo e combustível e atraso de aeronaves e logísticos, decorrentes da compra e envios emergenciais de sobressalentes, em razão da possibilidade de prever a ocorrência de quebras (manutenção preditiva). Essa previsibilidade permitiria um gerenciamento mais efetivo dos recursos empregados evitando, também, substituições desnecessárias de peças.

Outro aspecto positivo seria o aumento da disponibilidade dos radares, uma vez que a substituição dos rolamentos ocorreria próximo ao final de sua vida útil e antes que quebras se manifestassem. Isso evitaria interrupções prolongadas, garantindo que os equipamentos

permanecessem operacionais por mais tempo.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

De acordo com Gomes e Boroni (1990), há três maneiras de realizar a manutenção de equipamentos: a primeira consiste em esperar que ocorra uma falha para então consertar (manutenção corretiva); a segunda envolve realizar revisões e substituições em intervalos definidos (manutenção preventiva); e a terceira é a capacidade de prever quando uma falha acontecerá (manutenção preditiva). Sendo assim, a manutenção preditiva é um tipo em que as intervenções são agendadas com base em dados estatísticos e avaliações minuciosas da condição do equipamento. Nesse modelo de manutenção, as inspeções regulares se restringem ao monitoramento de parâmetros que possam sinalizar o estado operacional de um sistema ou dispositivo (Almeida, 2014).

O rolamento principal de um radar desempenha um papel fundamental, pois é responsável por suportar todo o peso da antena e permitir sua rotação. A falha desse componente resulta de uma série de eventos que se iniciam, geralmente, com uma deficiência na lubrificação, o que provoca um aumento do atrito entre as partes móveis em contato, como rolos, esferas e a pista do rolamento. Esse aumento de atrito gera vibrações excessivas e o superaquecimento do sistema. A fricção elevada resulta na formação de limalhas, que são partículas metálicas que se desprendem ao longo do tempo. À medida que esse processo avança, as partículas se acumulam e aumentam de tamanho, dificultando a rotação do rolamento e, eventualmente, levando ao seu travamento.

### **2.1 REDUÇÃO DE CUSTOS**

A detecção precoce de falhas em sistemas críticos, como o rolamento principal de um radar, representa uma oportunidade valiosa para a redução significativa dos custos associados à manutenção, sejam eles diretos, indiretos ou logísticos. Essa situação ressalta a necessidade de atenção especial para a manutenção e monitoramento dos equipamentos, a fim de minimizar a ocorrência de falhas, reduzindo significativamente os custos (Baldissarelli;

Fabro, 2019). Essa abordagem, reduziria os gastos diretos com mão de obra e peças de reposição, já que as manutenções poderiam ser planejadas de acordo com a disponibilidade de recursos (Baldissarelli; Fabro, 2019).

Além disto, o travamento de um rolamento poderia levar a quebra de motores e engrenagens e até mesmo o empeno do pedestal, provocado pela queda/inclinação da antena radar, fato esse, já ocorrido em 2018, na EACEA de Palmas – TO. O rolamento principal, por suportar todo o peso da antena, ao quebrar e travar, provocou a inclinação da antena, comprometendo o pedestal, o que exigiu sua substituição. Essa manutenção corretiva gerou prejuízos financeiros para o fabricante, uma vez que o radar ainda estava sob garantia, além de impactar negativamente a FAB, que ficou com o radar inoperante por um longo período. Dessa forma, a adoção de uma estratégia de manutenção preditiva não apenas possibilitaria a monitorização contínua das condições operacionais, mas também evitaria danos colaterais a outros componentes do sistema (Caldas, 2015).

Ao identificar falhas nos rolamentos antes que se tornem críticas, os custos indiretos também seriam reduzidos, como as frequentes substituições de peças, comuns nas manutenções preventivas. Isso resultaria em uma diminuição nas aquisições e estoques de novos componentes, contribuindo assim para a redução de custos indiretos (Bento, 2012).

Quando ocorre a quebra de um rolamento e conseqüentemente a indisponibilidade de um radar, o controlador perde a visualização da posição das aeronaves na tela radar. Essa perda faz com que a vetorização das aeronaves passe a ser realizada pelo controlador de voo de forma convencional, sem sua visualização, podendo levar a impactos na eficiência dos voos e conseqüentemente maiores gastos financeiros. No controle convencional, o controlador de voo depende exclusivamente da comunicação e de informações fornecidas pelos pilotos para monitorar a posição e o movimento das aeronaves. Essa abordagem limita a capacidade do controlador de ter uma visão abrangente e em tempo real da situação no espaço aéreo, sendo necessário aumentar o espaçamento entre aeronaves, conforme previsto na ICA 100-37 – Serviço de Tráfego Aéreo. O aumento do espaçamento entre aeronaves implica uma série de desvantagens, como, por exemplo, o aumento do tempo de voo e conseqüentemente o maior consumo de combustível. Também pode resultar em atrasos significativos, afetando a pontualidade e a confiabilidade dos serviços apoiados pelos esquadrões aéreos.

Outro custo afetado seria o logístico, com um planejamento antecipado, seria possível

organizar a compra e o envio de peças necessárias para a manutenção por meio dos corredores logísticos, evitando gastos emergenciais que costumam ser mais altos. Desta forma, identificação precoce de problemas contribuiria para a redução dos custos logísticos (Meloni; Sousa, 2019). Ademais, a redução de manutenções diminuiria os gastos com diárias, devido a redução da utilização de mão de obra especializada, liberando recursos financeiros que poderiam ser alocados em outras missões. Além disto, a reserva de passagens aéreas para a equipe técnica poderia ser feita com antecedência, permitindo o aproveitamento de tarifas mais baixas.

Em síntese, a adoção de um sistema de análise e monitoramento de vibrações nos rolamentos principais dos mecanismos de giro dos radares de fabricação Thales, da família STAR/RSM, permitiria a detecção precoce de falhas. Isso resultaria na diminuição do número de manutenções preventivas e corretivas, promovendo, assim, a redução dos custos diretos, indiretos e logísticos.

## 2.2 AUMENTO DA DISPONIBILIDADE RADAR

As localidades que tiveram mais quebras nos últimos 5 anos foram, Fortaleza - CE com 3 (três) quebras, Porto Seguro com 2 (duas). Vários fatores podem contribuir para essa oscilação da vida útil do rolamento entre as localidades, entre os quais podemos citar: a posição geográfica, que pode ter maior ou menor incidência de ventos, gerando maiores esforços mecânicos; as regiões litorâneas, que enfrentam problemas relacionados à salinidade, o que leva a maior oxidação dos componentes; o cumprimento das manutenções preventivas intermediárias, como a troca de óleo no prazo e na quantidade adequada; a utilização de óleos lubrificantes apropriados; e a adoção de procedimentos corretos.

A disponibilidade é um dos principais indicadores na gestão de manutenção. As perdas ao longo do processo produtivo, causadas por falhas nos equipamentos, podem ser significativas, por isso, a manutenção deve ter como meta garantir a máxima continuidade das operações, alcançando altos níveis de disponibilidade (Verri, 1995).

Atualmente, a substituição do rolamento principal ocorre por duas razões: preventivamente a cada oito anos, conforme estabelecido em Boletim Técnico, ou

corretivamente em caso de falha. No entanto, algumas localidades enfrentam dificuldades logísticas que fazem com que a troca preventiva ocorra com mais de oito anos, enquanto em outras, devido a quebras, essa substituição ocorre em menos tempo.

Diante do exposto, constata-se que a vida útil do rolamento principal varia de uma localidade para outra, e que nem todas as trocas preventivas precisariam ser realizadas a cada oito anos. A frequência poderia ser ajustada conforme as especificidades de cada local, podendo ocorrer em intervalos menores ou maiores. A implementação de um sistema de monitoramento e análise de vibrações permitiria prever a vida útil de cada rolamento para diferentes localidades, possibilitando sua substituição antes de falhas e o mais próximo possível do término de sua vida útil (Marques; Brito, 2019). Assim, ao realizar manutenções após o período de oito anos, a disponibilidade do radar aumentaria, permitindo que ele operasse por mais tempo. Da mesma forma, manutenções realizadas em intervalos inferiores a oito anos também aumentariam a disponibilidade do radar, pois as trocas seriam planejadas. Isso ajudaria a evitar interrupções prolongadas causadas por quebras inesperadas, que frequentemente deixam os equipamentos inoperantes por longos períodos.

Em suma, a implementação de um sistema de monitoramento e análise de vibrações permitiria ajustar a frequência de substituições de rolamentos conforme as especificidades de cada local, aumentando a disponibilidade dos radares e reduzindo interrupções por quebras inesperadas.

### **3 CONCLUSÃO**

Das 115 estações radares existentes no SISCEAB, 25 são da família STAR / RSM. Nos últimos cinco anos, de um total de 12 quebras, 10 ocorreram nos rolamentos desta família de radar, evidenciando um problema crítico neste sistema, o que afeta diretamente a operação do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro – SISCEAB. A avaliação de vibrações é fundamental para diagnosticar falhas em rolamentos e monitorar a condição dos equipamentos.

A implementação de um sistema de monitoramento e análise de vibrações se apresenta como uma solução eficaz para esse desafio, sendo possível realizar um acompanhamento contínuo das condições dos rolamentos, permitindo a detecção antecipada de falhas. Essa

abordagem transformaria a manutenção de uma prática reativa em um processo proativo, assegurando que as intervenções ocorressem antes que problemas críticos se manifestassem.

A redução de custos é um dos principais benefícios associados à adoção desse sistema. A manutenção preditiva possibilitaria evitar quebras inesperadas, o que diminuiria os gastos diretos com reparos e substituições emergenciais. Além disso, a detecção precoce de falhas reduziria os custos indiretos, pois diminuiria as substituições frequentes de peças e paradas dos equipamentos, que são comuns em manutenções preventivas. Dessa forma, haveria uma redução na aquisição de novos componentes e nos impactos para as companhias aéreas. Por último, os custos logísticos também seriam reduzidos, pois o envio de materiais e a alocação de pessoal seriam realizados com antecedência e de forma planejada.

Além disso, a utilização de um sistema de monitoramento e análise de vibrações resultaria em um significativo aumento da disponibilidade dos radares e conseqüentemente da segurança operacional, uma vez que permitiria identificar e corrigir problemas antes que se tornem falhas críticas. Ao monitorar continuamente o desempenho e as condições de um equipamento, as intervenções poderiam ser programadas de forma estratégica, evitando paradas inesperadas e prolongadas. Essa prática também maximizaria a vida útil dos rolamentos, o que aumentaria a disponibilidade dos equipamentos de vigilância.

Por fim, a implementação de um sistema de análise e monitoramento de vibrações trará também um impacto estratégico significativo para o COMAER. Ao garantir uma operação mais eficiente e confiável dos radares, a FAB monitorará o espaço aéreo nacional de maneira contínua, o que contribuirá diretamente para a elevação da prontidão operacional da Força Aérea. Dessa forma, a defesa do território, integridade das operações aéreas e o suporte à sociedade serão potencializados por um sistema de vigilância mais eficaz.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. S. de. **Manutenção Mecânica Industrial**. Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada. Editora Érica. São Paulo, 2014.

BALDISSARELLI, L.; FABRO, E. Manutenção Preditiva na indústria 4.0. **Scientia cum industria**, v. 7, n. 2, p. 11-22, 2019.

BENTO, F. da S. **O uso da manutenção preditiva como subsídio à manutenção preventiva**. 2012. Trabalho de conclusão de curso – Faculdade de Administração, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. [Portaria DECEA nº 256/DGCEA, (2020)]. **Serviço de Tráfego Aéreo ICA 100-37 (Digital)**, [2024]. Disponível em: <http://10.52.143.125/terminalcendoc/Resultado/ListarLegislacao?guid=1728420381166>. Acesso em: 08 out. 2024.

CALDAS, A. N. **Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para manutenção preditiva dos ativos de uma subestação elétrica**. 2015. Tese (Mestrado integrado em engenharia informática e computação) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2015. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10216/83105>. Acesso em: 08 out. 2024.

GERGES, S. N. Y.; NUNES, M. A. C. Detecção de Falhas em Rolamentos através de Medição do Envelope de Vibrações. **VII Congresso Nacional de Ingeniería Mecánica**, Universidad Austral de Chile, 2 a 5 outubro 1996.

GOMES, G. F.; BARONI, T. D’A. Manutenção Preditiva por Ferrografia. **Revista Mundo Mecânico**, Fevereiro de 1990(24 - 28).

LENZI, A. **Revisão Bibliográfica sobre Técnicas de Diagnóstico de Defeitos em Máquinas**. Relatório Parcial I e II, Setembro 1991.

MARQUES, A. C.; BRITO, J. N. Importância da manutenção preditiva para diminuir o custo em manutenção e aumentar a vida útil dos equipamentos. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 5, n. 7, p. 8913–8923, 2019. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/2315>. Acesso em: 4 out. 2024.

MELONI, B. D. B.; SOUSA, L. G. L. de. **Proposta de metodologia preditiva para otimização da limpeza de trocadores de calor resfriado a água**. 2019. xiii, 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica)—Universidade de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/26048>. Acesso em: 08 out. 2024.

VERRI, L. A. **Gerenciamento pela Qualidade Total na Manutenção Industrial Aplicação e Prática**. 1995. Tese (Mestrado) – UNICAMP, Campinas, 1995.