



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2025

DANILO VENANCIO DA SILVA, Cap Eng

**Implantação de Dados de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) nos
Contratos de Aquisição de Aeronaves da Força Aérea Brasileira**

Rio de Janeiro

2025

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2025

DANILO VENANCIO DA SILVA, Cap Eng

**Implantação de Dados de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) nos
Contratos de Aquisição de Aeronaves 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: Gestão Institucional
Orientador: Marcos Zeitone Koialainski Junior,
Maj Av

Rio de Janeiro

2025

DANILO VENANCIO DA SILVA, Cap Eng

**Implantação de Dados de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) nos
Contratos de Aquisição de Aeronaves 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, Marcos Zeitone Koialainski Junior, Maj Av - EAOAR

Patricia Fernanda Barros Pereira Dias, Cap Dent - EAOAR

Rio de Janeiro

2025

RESUMO

A aquisição de aeronaves pela Força Aérea Brasileira (FAB) envolve não apenas a entrega do bem físico, mas também o suporte logístico e conseqüentemente o programa de manutenção. Contudo, observa-se que, por falta de conhecimento técnico sobre os sistemas adquiridos, as Subdivisões de Engenharia (TENGS) acabam apenas replicando as orientações dos fabricantes, o que pode gerar programas desajustados à realidade operacional da FAB. Neste contexto, este ensaio defende a tese de que, desde a concepção, os contratos de aquisição de aeronaves devem incluir os chamados “Dados de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)”: Curva de Confiabilidade $R(t)$, Tempo Médio entre Falhas (MTBF) e a Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade (FMECA). O primeiro argumento mostra que a disponibilidade desses dados permite ajustar os intervalos de manutenção às condições específicas da FAB. O segundo argumento demonstra que os “Dados de MCC” fortalecem a autonomia técnica das TENGS, pois permitem que os programas de manutenção sejam modificados com maior critério. Conclui-se, portanto, que a inclusão de “Dados de MCC” nos contratos de aquisição de aeronaves representa um passo essencial para reduzir a dependência da FAB em relação aos fabricantes de aeronaves, implicando também em menores custos, maior disponibilidade, prontidão e conseqüentemente, melhor cumprimento da missão institucional da FAB.

Palavras-chave: Dados de MCC; Aquisição de Aeronaves; Programa de Manutenção.

1 INTRODUÇÃO

A aquisição de projetos de aeronaves representa um investimento estratégico de alto valor para a Força Aérea Brasileira (FAB), consistindo não apenas da aquisição, como também do suporte logístico que inclui assistência técnica, fornecimento de itens consumíveis, reparáveis, manutenção de equipamentos, treinamento de pilotos, mecânicos etc.

Quando um projeto de aeronaves é adquirido, há um esforço para que o suporte logístico da aeronave seja adequado à FAB. Neste suporte, está incluso o programa de manutenção da aeronave adquirida, que no âmbito da FAB, deve ser avaliado e aprovado pelas Subdivisões de Engenharia (TENGS) dos Parques de Material Aeronáutico (PAMAs).

É importante ressaltar que o programa de manutenção de uma aeronave é um documento dinâmico, que pode ser alterado pelo próprio fabricante ao longo do tempo, ou pelas próprias TENGS dos PAMAs. Entretanto, devido à falta de conhecimento sobre as aeronaves adquiridas, na maioria dos casos as TENGS acabam apenas replicando o programa de manutenção do fabricante ou o modificam conforme as orientações do próprio fabricante, que nem sempre pode ou tem interesse em fornecer um programa de manutenção que se adeque melhor à realidade operacional da FAB, conforme estudo realizado por Teixeira (2022), cujos resultados mostraram que tanto as tarefas de manutenção preconizadas pelos fabricantes, como a sua periodicidade estavam desajustadas da operação em que as aeronaves Cessna 152/172 estavam inseridas.

Embora os contratos de aquisição geralmente contemplem algum nível de suporte técnico, quase sempre este suporte torna a compradora dependente do fornecedor, como se verifica no projeto H-36. É neste contexto que a disciplina Confiabilidade permite maior independência ao comprador da aeronave, pois possui métodos quantitativos e qualitativos que sustentam tecnicamente tanto a criação quanto a modificação de um programa de manutenção, pois a aplicação desses métodos revela quando, por que e com que frequência ocorrem falhas e seus respectivos impactos, possibilitando a definição de intervalos de manutenção mais eficazes, fator que possibilitaria aos engenheiros das TENGS maior independência do fabricante para a tomada de decisões técnicas envolvendo os programas de manutenção das aeronaves adquiridas.

Portanto, seria essencial que desde a concepção, os contratos de aquisição de aeronaves fossem pensados de forma a fornecer um nível de conhecimento suficiente para permitir autonomia da FAB na tomada de decisões técnicas envolvendo os programas de manutenção da aeronave adquirida, sem depender totalmente do fornecedor.

Tal conhecimento será referido como “Dados de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)”, e deve incluir no mínimo as seguintes informações para os principais itens da aeronave adquirida: Curva de Confiabilidade $R(t)$, Tempo Médio entre Falhas (*Mean Time Between Failures* - MTBF) e a Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade (*Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis* – FMECA).

Diante do exposto, este Ensaio acadêmico defende a tese de que desde a concepção, os contratos de aquisição de aeronaves devem incluir “Dados de MCC”, a fim de reduzir a dependência da FAB em relação aos fabricantes de aeronaves.

A tese supracitada será defendida com base nos seguintes argumentos: o primeiro sustenta que a disponibilidade de “Dados de MCC” permite ajustar os intervalos de manutenção às condições operacionais da FAB; o segundo evidencia que os “Dados de MCC” reduzem a dependência em relação ao fabricante, fortalecendo a capacidade técnica da FAB.

2 DESENVOLVIMENTO

O fornecimento de dados de empresas privadas para a FAB já é uma prática que existe na FAB por meio da ICA 400-21, que estabelece que os contratos de manutenção devem incluir o fornecimento de dados de manutenção pela empresa sempre que solicitado pela FAB, prática que pode ser estendida para os contratos de aquisição, com o fornecimento de dados de confiabilidade (Brasil, 2006a).

Essa prática já é recomendada pelo Departamento de Defesa (DoD) dos Estados Unidos (United States, 2021), que estabelece que o planejamento do suporte deve ser orientado por dados técnicos desde o início do processo contratual, além de estabelecer a confiabilidade como um parâmetro chave, e que o conhecimento do produto adquirido está de acordo com as melhores práticas de aquisição do DoD (United States, 2005). Neste contexto, os argumentos 1 e 2 sustentarão a tese de que desde a concepção, os contratos de aquisição de aeronaves devem incluir “Dados de MCC”, a fim de reduzir a dependência da FAB em relação aos fabricantes de aeronaves.

O argumento 1 sustentará que a disponibilidade dos “Dados de MCC” permite ajustar os intervalos de manutenção das aeronaves da FAB conforme as condições reais de operação da FAB, em vez de seguir rigidamente o programa do fabricante, que pode não ser o mais adequado. Já o argumento 2 mostrará por meio de um exemplo real que a posse dos “Dados de MCC” fortalece a capacidade técnica da FAB ao longo do ciclo de vida de um sistema, pois

esses dados possibilitam uma modificação eficaz de um programa de manutenção de aeronaves, aumentando a autonomia sem comprometer a segurança.

2.1 A DISPONIBILIDADE DOS “DADOS DE MCC” PERMITE AJUSTAR OS INTERVALOS DE MANUTENÇÃO ÀS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DA FAB

A definição de um intervalo de manutenção leva em conta o risco, que é baseado na severidade do evento e na probabilidade de ocorrência desse evento (Modarres; Kaminskiy; Krivtsov, 2016). Considerando o evento como a falha de um item, seu intervalo de manutenção pode ser definido para um instante em que a probabilidade desse evento (falha) e a severidade são aceitáveis, considerando os limites recomendados em normas consagradas (United States, 1988).

É importante ressaltar que a falha de um item é um evento probabilístico que varia ao longo do tempo de utilização, que pode ser estimado estatisticamente, mas nunca definido de forma exata. Já a severidade avalia a gravidade das consequências resultantes de uma falha.

É nesse contexto que se encontra a Curva de Confiabilidade, que basicamente é a probabilidade de um item não falhar ao longo do tempo (o oposto da probabilidade de falha), cuja definição formal segue abaixo.

A confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais predeterminadas (Fogliatto; Ribeiro, 2009, p. 2).

Para que uma Curva de Confiabilidade seja plotada, são necessários dados de falha e de troca de componentes, indispensáveis para qualquer reavaliação dos requisitos de inspeção e manutenção dos itens e equipamentos, e podem ser coletados junto aos operadores, mantenedores e fabricantes do item (Brasil, 2006b).

Entretanto, os eventos de falha obtidos junto a operadores e mantenedores raramente são catastróficos, de modo que a Curva de Confiabilidade obtida geralmente é extremamente conservativa, limitando assim a capacidade das TENGs de definir um intervalo de manutenção mais adequado para a realidade da FAB. Geralmente só os fabricantes possuem dados de eventos catastróficos suficientes para estimar uma Curva de Confiabilidade que considere esses eventos, de forma que o fornecimento desse dado em contratos de aquisição de aeronaves permitiria que as TENGs consigam estabelecer esses intervalos de maneira mais adequada, sem a necessidade de replicar o que o fabricante estabelecer, necessariamente.

Outra informação importante para os “Dados de MCC” é o Tempo Médio entre Falhas (*Mean Time Between Failures* - MTBF), que de acordo com o MCA 66-7, é definido como

tempo médio entre as ocorrências de defeito em um sistema, subsistema ou componente em um determinado período (Brasil, 2017). Este parâmetro é importante, pois através dele é possível fazer alguma estimativa sobre a Curva de Confiabilidade de um item com algumas simplificações, além de ser mais fácil de ser obtido junto ao fabricante.

Por fim, a última informação importante para os “Dados de MCC” é o FMECA, que se trata de um método sistemático de avaliação de um item para identificar as formas que ele pode falhar, os efeitos dos modos de falhas na performance do item e a análise de criticidade, que nada mais é do que uma medida da importância relativa de um efeito de falha, que é baseada na combinação de sua probabilidade de falha e na gravidade de suas consequências (De Cicco, 2021).

O conhecimento sobre o FMECA geralmente requer algum conhecimento do projeto do item analisado (Fogliatto; Ribeiro, 2009), o que possibilita aos engenheiros da TENG conhecer a severidade de todas as falhas de um item, o que permitiria a exclusão de tarefas de manutenção para aquelas falhas que não afetam a segurança do item, que é uma solicitação recorrente dos operadores de aeronaves às TENGs.

Neste contexto, é importante mencionar que as TENGs também recebem frequentes pedidos de prorrogação de tarefas de manutenção dos Operadores de aeronaves, que eventualmente necessitam de um tempo adicional para realizar alguma missão. Devido à ausência de “Dados de MCC”, os critérios para a prorrogação utilizados pelas TENGs ficam prejudicados, algo que é uma situação recorrente no projeto H-36 por exemplo, do qual a FAB é totalmente dependente do fabricante, de forma que a TENG acaba apenas transmitindo o programa de manutenção e as informações do fabricante para os operadores.

Para que as prorrogações concedidas pelas TENGs sejam mais criteriosas, faz-se necessário conhecer a probabilidade de falha para o período de prorrogação (obtida por meio da Curva de Confiabilidade ou do MTBF), e a severidade do efeito de falha do item (obtido por meio do FMECA).

Diante do exposto, é essencial que desde a sua concepção, os contratos de aquisição incluam dados como Curva de Confiabilidade $R(t)$, MTBF e FMECA para os principais itens de uma aeronave adquirida, a fim de que as TENGs possam modificar um programa de manutenção com maior critério, podendo estender os intervalos de manutenção com maior segurança, minimizando a dependência técnica em relação ao fabricante, gerando assim maior tempo de operação das aeronaves e conseqüentemente maior disponibilidade e economia de custos.

2.2 OS “DADOS DE MCC” REDUZEM A DEPENDÊNCIA EM RELAÇÃO AOS FABRICANTES, FORTALECENDO A CAPACIDADE TÉCNICA DA FAB

A aplicação desses “Dados de MCC” está relacionada com a análise de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), que de acordo com o MCA 400-15, é um processo usado para estabelecer os requisitos de manutenção preventiva e identificar as ações que mantenham a operação segura e efetiva de um sistema, componente ou item, e deve incluir obrigatoriamente uma análise de FMECA dos componentes mais importantes (Brasil, 2006b).

Enquanto a análise MCC identifica os itens mais críticos de uma aeronave, o FMECA aprofunda os modos de falha, seus efeitos e a criticidade de cada item, e juntas, essas análises embasam as decisões para um programa de manutenção, permitindo priorizar recursos e ações conforme o impacto potencial das falhas.

A aplicação de um FMECA requer o conhecimento detalhado do sistema analisado, e quando um FMECA é realizado, o primeiro aspecto analisado é como os componentes do sistema analisado podem falhar (Lemes, 2006). Depois, são analisados quais são os efeitos dessas falhas sobre o sistema, que podem ter impacto na segurança, na operação e na economia (Moubray, 1997). Por fim, as tarefas do programa de manutenção são estabelecidas com base na severidade do efeito de falha (Teixeira 2022).

Tanto a análise MCC quanto o FMECA são procedimentos que já foram realizados nas aeronaves AH-2 por exemplo, uma vez que foram identificadas previamente diversas tarefas de manutenção desnecessárias para a aeronave. Sendo assim, foram selecionados os itens mais críticos da aeronave por meio de análise MCC, para que as tarefas do programa de manutenção fossem avaliadas quanto a sua necessidade por meio de uma análise FMECA.

Apesar de diversas tarefas terem sido excluídas no programa de manutenção da aeronave AH-2, a capacidade de realização do FMECA foi limitada, pois os engenheiros não tinham conhecimento exaustivo sobre as falhas da aeronave AH-2, o que poderia ocasionar acréscimo ou supressão de informações na análise.

Caso os engenheiros envolvidos na análise FMECA da aeronave AH-2 tivessem acesso aos “Dados de MCC”, o trabalho teria sido realizado com maior eficiência e segurança, pois os envolvidos não correriam o risco de suprimir uma tarefa de manutenção de forma equivocada, incluir uma tarefa desnecessária ou prorrogar indevidamente alguma tarefa.

Com base no exemplo da aeronave AH-2, conclui-se que a modificação de um programa de manutenção requer um conhecimento profundo sobre o funcionamento dos principais itens de uma aeronave, que são os “Dados de MCC”. Sem esse conhecimento desde a concepção do

contrato de aquisição, a capacidade de modificação de um programa de manutenção fica limitada, assim como a capacidade técnica da FAB durante o ciclo de vida dos sistemas adquiridos. Diante do exposto, é importante que, desde a concepção, os contratos de aquisição de aeronaves incluam “Dados de MCC”.

3 CONCLUSÃO

A aquisição de uma aeronave militar não deve se restringir ao fornecimento do bem físico, mas deve contemplar, desde a concepção do contrato de aquisição, os chamados “Dados de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)“, que inclui a Curva de Confiabilidade $R(t)$, o Tempo Médio entre Falhas (MTBF) e a Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade (FMECA), que são fundamentais para permitir que as TENGs da FAB tenham autonomia técnica para estender intervalos de manutenção e modificar programas de manutenção das aeronaves ao longo do ciclo de vida para as condições operacionais da FAB.

Conforme descrito no primeiro argumento, um intervalo de manutenção de um item é definido com base na sua probabilidade de falha e a severidade da falha, e ambos podem ser obtidos por meio dos “Dados de MCC”. Sendo assim, fica comprovado que a disponibilidade dos “Dados de MCC” permite ajustar os intervalos de manutenção para as condições operacionais da FAB.

O segundo argumento mostrou que sem os “Dados de MCC”, a capacidade das TENGs de realizar uma análise FMECA e de ajustar os intervalos de manutenção ficam prejudicados, conforme evidenciado no caso da aeronave AH-2, que apesar de ter diversas tarefas excluídas do programa de manutenção, a capacidade de realização do FMECA foi prejudicada, pois os engenheiros não tinham conhecimento exaustivo sobre as falhas da aeronave AH-2, o que poderia ocasionar em acréscimo ou supressão de informações na análise. Caso os envolvidos na análise FMECA tivessem acesso aos “Dados de MCC”, a capacidade técnica da FAB no ciclo de vida dos sistemas da aeronave AH-2 teria sido maior, assim como para outras aeronaves adquiridas.

Diante do exposto, conclui-se que a inclusão de “Dados de MCC” nos contratos de aquisição não constitui apenas uma boa prática, mas um imperativo estratégico para garantir maior autonomia técnica para as TENGs otimizarem os programas de manutenção de aeronaves, o que implicará em diminuição de custos de manutenção, aumento de disponibilidade da frota e maior prontidão das aeronaves adquiridas para cumprirem a missão institucional da FAB.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Portaria DIRMAB Nº 9, de 10 de março de 2006. Aprova a edição da Instrução que dispõe sobre o Sistema de Confiabilidade do SISMA e do SISMAB (ICA 400-21). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 075, f. 2404, 2006a. Disponível em: <https://www.sislaer.fab.mil.br/terminalcendoc/Busca/Download?codigoArquivo=2275&tipoMídia=0>. Acesso em: 20 maio 2025.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Portaria DIRMAB Nº 10, de 10 de março de 2006. Aprova a edição do Manual que trata da Centrada na Confiabilidade (MCA 400-15). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 075, f. 2405, 2006b. Disponível em: <https://www.sislaer.fab.mil.br/terminalcendoc/Busca/Download?codigoArquivo=2710&tipoMídia=0>. Acesso em: 20 maio 2025.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Portaria DIRMAB Nº 78/PLON-2, de 05 de julho de 2017. Aprova a reedição do Manual que estabelece a doutrina, os processos e a documentação de manutenção do Sistema de Material da Aeronáutica (MCA 66-7). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 118, f. 6842-6843, 2017. Disponível em: <https://www.sislaer.fab.mil.br/terminalcendoc/Busca/Download?codigoArquivo=1766&tipoMídia=0>. Acesso em: 20 maio 2025.
- DE CICCO, F. FMEA: conheça o atual estado da arte desta importante técnica de análise. **iso31000.net**, 2021. Disponível em: <https://iso31000.net/fmea/>. Acesso em: 20 maio 2025.
- FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e manutenção: teoria e aplicações**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.
- LEMES, D. V. **Proposta de método de análise de confiabilidade de sistemas eletrônicos empregando dados de retorno em garantia**. 2006. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecatrônica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3151/tde-15092006-173750/publico/DanielliVillarLemes.pdf>. Acesso em: 20 maio 2025.
- MODARRES, M.; KAMINSKIY, M.; KRIVTSOV, V. **Reliability Engineering and Risk Analysis: A Practical Guide**. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2016.
- MOUBRAY, J. **Reliability-centered Maintenance (RCM II)**. São Paulo: Editora EPSE, 1997.
- TEIXEIRA, P. D. G. R. S. **Aplicação do conceito Maintenance Steering Group 3 (MSG-3) às aeronaves da aviação geral para otimização da manutenção da frota**. 2022. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2022. Disponível em: <https://scholar.tecnico.ulisboa.pt/records/4XwGb4HNb1c0FpCqGeOspwWqNo45a0NUic7f>. Acesso em: 20 maio 2025.

UNITED STATES. Federal Aviation Administration. **AC 25.1309-1A – System Design and Analysis**. Washington, DC: Federal Aviation Administration, 1988. Disponível em: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_25.1309-1A.pdf. Acesso em: 20 maio 2025.

UNITED STATES. Department of Defense. **DoDI 5000.91 – Product Support Management for the Adaptive Acquisition Framework**. Washington, DC: DoD, 2021. Disponível em: <https://www.esd.whs.mil/Portals/54/Documents/DD/issuances/dodi/500091p.PDF>. Acesso em: 20 maio 2025.

UNITED STATES. Government Accountability Office. **Tactical Aircraft: Opportunity to Reduce Risks in the Joint Strike Fighter Program with Different Acquisition Strategy**. Washington, DC: GAO, Mar. 2005. GAO-05-271. Disponível em: <http://www.gao.gov/cgi-bin/getrpt?GAO-05-271>. Acesso em: 20 maio 2025.