CERTIFICAÇÃO PARA CRÉDITO: ESTUDO DE CASO PARA AERONAVES VTOL EM CENÁRIO URBANO

Henrique Costa Marques
Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Pça Marechal Eduardo Gomes n° 50 – Campus do DCTA – CEP: 12.228-900 - São José dos Campos/SP- Brasil, Tel:(12) 3947-5763 – hmarques@ita.br

Wagner Cazzaniga
Embraer S.A.
Avenida Brigadeiro Faria nº 2.170 – CEP: 12.227-901 São José dos Campos/SP- Brasil, Tel:(12) 3927-4019 – wagner.cazzaniga@embraer.com.br

Alessandro Giacotto
Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Pça Marechal Eduardo Gomes n° 50 – Campus do DCTA – CEP: 12.228-900 - São José dos Campos/SP- Brasil, Tel:(12) 99706-2812 – agiacott@ita.br

RESUMO

A demanda para o uso de sistemas de pequeno porte, acionados eletricamente e de pouso e decolagens verticais requisitarão uma legislação de certificação para crédito clara e factível de ser executada em sistemas baseados em dados de monitoramento da condição e uso da manutenção preditiva como alternativa a preventiva.

O presente trabalho propõe a discussão de alternativas para o uso de sistemas de monitoramento e gerenciamento da saúde de veículos visando à segurança, disponibilidade, manutenibilidade e confiabilidade e que sejam certificáveis, segundo as diretivas de aeronavegabilidade necessárias para a suportabilidade destes sistemas, no denso ambiente urbano.

Palavras-Chave: Certificação, Monitoramento da Condição, Manutenibilidade, Aeronavegabilidade, VTOL.

1. INTRODUÇÃO

A demanda por sistemas de transporte aéreo nas cidades provocou uma corrida na construção de sistemas de pequeno porte, acionados eletricamente, de pouso e decolagens verticais que demandam uma operação segura e manutenibilidade compatíveis com os espaços disponíveis dentro de um movimentado e denso centro urbano. Diversos modelos de aeronaves de asas rotativas (*rotorcraft*) do tipo VTOL (*Vertical Takeoff and Landing*) já foram desenvolvidos ao longo dos anos, buscando uma solução viável ao problema em questão. Até mesmo helicópteros de pequeno porte são intensamente utilizados em ambientes urbanos, com um custo de ciclo de vida ainda proibitivos para o uso de segmentos populacionais de menor renda.

Uma evolução do veículo VTOL é a adoção do sistema de propulsão elétrico viabilizado através das recentes pesquisas em armazenamento de energia elétrica em baterias íon-lítio de alta eficiência, o e-VTOL (*electric – Vertical Take-Off and Landing*), de acordo com a tendência mundial de redução do consumo de combustíveis fósseis, e de adoção de uma operação sustentável.

Historicamente, o custo de manutenção deste tipo de aeronave durante seu ciclo de vida é alto, quando comparado às aeronaves de asa fixa convencionais, devido à quantidade de motores e de componentes rotativos típicos do sistema. Consequentemente, a adoção de métodos, técnicas e tecnologias que venham a reduzir o custo do ciclo de vida destes sistemas poderão trazer ganhos, desde que atendam às normas reguladoras da atividade operacional, bem como os procedimentos regulamentados para as atividades de manutenção e de logística. Por isso, tem-se verificado o aumento no uso de sensores no projeto de veículos aéreos no intuito de se obter um grande volume de dados que permita a identificação do melhor momento para se realizar a parada para manutenção.

No entanto, a predição de parada ainda não é um processo certificado de ampla aceitação na comunidade aeronáutica, sendo necessários maiores estudos para a certificação de sistemas de gerenciamento da saúde de veículos para que atividades de manutenção possam ser substituídas por processos de monitoramento da condição. Portanto, a certificação de sistemas deste tipo demandará uma legislação clara e factível de ser executada em espaços urbanos reduzidos e em sistemas baseados em dados de monitoramento.

A proposta do presente trabalho será a sugestão de alternativas para o uso de sistemas de monitoramento e gerenciamento da saúde de veículos que tornem a operação destes sistemas mais segura e sejam certificáveis para suportar as diretivas de aeronavegabilidade já definidas. Espera-se que a partir da adoção das medidas sugeridas seja possível estabelecer tarefas de manutenção preditiva como alternativa de manutenções preventivas, reduzindo-se o tempo de tarefas de manutenção tradicionais, no escopo da atividade prevista para um e-VTOL urbano.

O presente artigo será desenvolvido da seguinte forma: a Seção 2 apresenta as discussões a respeito da certificação de sistemas HUMS (*Health and Usage Monitoring System*) de asas rotativas e do processo de manutenção atualmente homologados para a aviação mundial; a Seção 3 apresenta a contextualização do estudo de caso descrevendo o cenário de utilização, as premissas de operação e projeto, a estratégia de manutenção adotada, assim como a arquitetura IVHM (*Integrated Vehicle Health Management*) proposta; a Seção 4 apresenta, para o estudo de caso descrito na Seção 3, possíveis soluções para a certificação da arquitetura IVHM associada a manutenção preditiva e monitoramento da condição; e a Seção 5 apresenta as discussões finais e sugestões para a continuação das pesquisas nesta área.

2. CONCEITOS E SUBSÍDIOS TÉCNICOS

Conceitualmente, a partir da norma NBR 5462 (ABNT, 1994) sobre Confiabilidade e Mantenabilidade, entende-se por:

- Manutenção Corretiva - manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida;
- Manutenção Preventiva - manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada

a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item;
- Manutenção Programada - manutenção preventiva efetuada de acordo com um programa pré-estabelecido; e
- Manutenção Preditiva - manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

Ainda, os níveis de manutenção são definidos segundo (JONES, 2006) como:

- Manutenção de 1º nível - manutenção executada pelo proprietário ou usuário do equipamento na linha de voo ou em hangares, sem necessidade de ferramentas especiais ou treinamentos aprofundados sobre o sistema;
- Manutenção de 2º nível - compreende tarefas na aeronave que transcendem o escopo do 1º nível devido à complexidade ou à necessidade de infraestrutura de apoio dedicada para o trabalho, utilizando ferramentas de apoio padronizadas ou específicas, em hangares ou oficinas do cliente; e
- Manutenção de 3º nível - ações de manutenção que não podem ser cumpridas nos 1º e 2º níveis. Por possuir a maior variedade de ferramentas e equipamentos de teste entre todos os níveis, possibilita fazer o que for necessário para reparar o equipamento que apresenta a falha. Geralmente, por se tratarem de tarefas mais complexas, onde é necessário um nível de conhecimento elevado e especializado sobre o equipamento, o 3º nível é executado pelo fabricante do item ou por centros de serviços, ou ainda, parques capacitados.

A alternativa técnica, proposta nesse artigo para possibilitar o uso da manutenção preditiva como um meio alternativo à manutenção programada, é composta por uma solução híbrida baseada na metodologia MSG-3 (ATA, 2015) (*Maintenance Steering Group*), amplamente utilizada no desenvolvimento de tarefas de manutenção programada em aeronaves certificadas para uso Comercial, Executivo e, em alguns casos, na Defesa, e na AC 29-2C (*Advisory Circular*) (FAA, 2018) - seção AC9 MG15, desenvolvida com o objetivo de ser uma guia que visa a aprovação de aeronavegabilidade para instalações e infraestruturas, tanto embarcadas como em solo, o fornecimento de etapas para a validação de crédito e instruções de aeronavegabilidade continuada na ampla gama de aplicações HUMS em aeronaves de asas rotativas.

Um terceiro componente utilizado nesse artigo para ligação entre MSG-3 e AC 29-2C é o IP 180 (*Issue Paper*) (EASA, 2018) desenvolvido entre 2016 e 2018 pelo grupo MPIG (*Maintenance Program Industry Group*), composto por fabricantes de aeronaves, empresas aéreas, e outras entidades como, por exemplo, A4A e IATA (*Airline for America* e *International Air Transport Association*) com o objetivo de integrar processualmente a prática do monitoramento de saúde com a lógica de definição de tarefas de manutenção programada através dos critérios de aplicabilidade e efetividade.

Ao identificarmos componentes mantidos através da manutenção programada, com prontidão de monitoramento de saúde do sistema, uma análise complementar é realizada para confirmação da aplicabilidade e efetividade da manutenção preditiva como substituta à manutenção programada. Como resultado final, podemos ter: a manutenção preditiva como alternativa à manutenção programada; manutenção programada com escopo e/ou intervalo modificado, também chamado de preventiva híbrida; e, como opção final, nenhuma ação preditiva efetiva. Com a aplicação da metodologia, a tarefa programada passa a se chamar de preventiva clássica.

O uso de manutenções preditivas, de acordo com a metodologia, é opcional tendo o usuário final a decisão pela escolha da melhor abordagem e estratégias de manutenção a serem utilizadas na operação de manutenção do e-VTOL.

A alternativa técnica aqui discutida considera a estratégia de Manutenção Baseada na Condição como complemento às estratégias usuais de manutenção com relevantes benefícios na Confiabilidade, Disponibilidade,

Mantenabilidade e Segurança, conforme mencionado na Seção 1.

A combinação será feita a partir dos níveis de análise da metodologia de MSG-3 para sistemas, também conhecidas como Análise de Nível 1 e Nível 2 com a metodologia complementar denominada de Análise de Nível 3.

O Nível 3 verificará se unidades trocáveis na linha - LRUs (*Line Replaceable Units*) com prontidão de monitoramento de saúde identificam, através da avaliação de saúde e prognóstico, necessidade de lubrificação ou serviço, degradação de funcionalidades antes da ocorrência da falha e, por fim, falhas ocultas. Com isso, critérios para verificação da aplicabilidade e efetividade são implementados considerando sempre um período de tempo suficiente entre a identificação de uma anomalia ou falha e consequente manutenção corretiva ou preventiva.

Os critérios de aplicabilidade e efetividade estão detalhados a seguir:

- Aplicabilidade – A LRU deverá possuir sensores para transmissão de parâmetros produzidos para equipamentos de processamento em solo, que deverá alertar ou possibilitar a identificação, com tempo suficiente, ações de manutenção preventivas ou corretivas dentro da janela de prognóstico do componente. Isso é possível através do estabelecimento de acompanhamento da RUL (*Remaining Useful Life*); e
- Efetividade – Opção da utilização da manutenção preditiva considerando a vasta disponibilidade de tecnologia e categoria da tarefa programada preterida para substituição. É necessário avaliar se a nova abordagem de manutenção possui desvantagens que possam comprometer o monitoramento de saúde com efeitos na segurança e disponibilidade do e-VTOL. A substituição da manutenção programada pela preditiva deverá ser economicamente viável.

As tarefas preditivas farão parte do programa de manutenção tradicional contendo também outras tarefas de manutenção preventivas clássicas e limitações. Esse novo programa de manutenção será denominado nesse artigo como Programa de Manutenção Híbrido conforme a Figura 1.

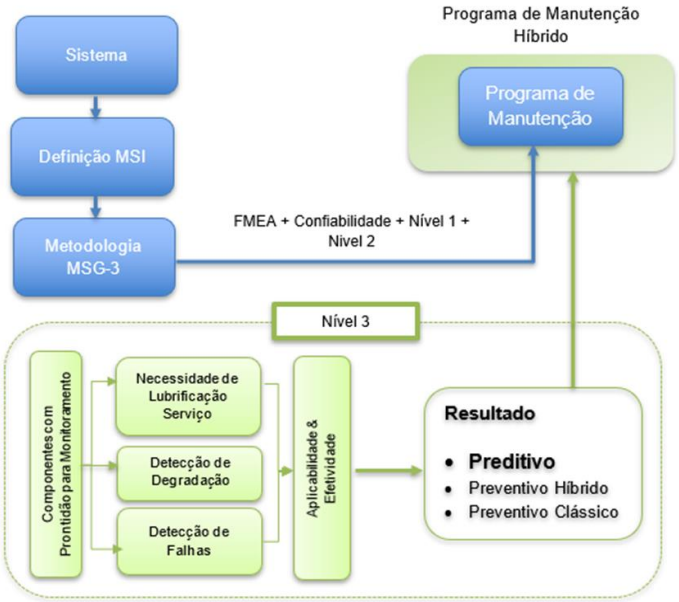


Figura 1: Combinação MSG-3 com IP 180

3. CENÁRIO

Tomando-se como estudo de caso a cidade de São Paulo pretende-se descrever o cenário de emprego de uma aeronave e-VTOL para transporte ”*on-demand*” de pessoal e cargas em ambiente urbano, onde a aeronave será um tipo genérico com motores elétricos e capacidade para 1 piloto e 3 passageiros ou 1 piloto e 300 kg de carga.

Premissas Operacionais:

1. Autonomia de 1 hora de voo;
2. Malha operacional pré-determinada no centro expandido de São Paulo apoiada por pontos de parada (*Pads*) exclusivos para e-VTOL;
3. 18 horas diárias de operação por veículo;
4. Operação anual de 5940 horas de voo por veículo;
5. Pontos de recarga nas bases de manutenção e opção de substituição da bateria nos *Pads* dedicados;
6. Tempo de recarga da bateria de 3 horas; e
7. Gestão da frota na base central de Guarulhos.

Estratégia de Manutenção:

1. Piloto capacitado em manutenção de linha nos *Pads*;
2. 1º e 2º nível de manutenção nas bases principais (Guarulhos/Congonhas);
3. 1º nível de manutenção nos *Pads*; e
4. 3º nível de manutenção executado nos fornecedores.

Os sistemas da aeronave que possuem um plano de manutenção a ser desenvolvido estão na Tabela 1.

Tabela 1: Sistemas e Estratégia de Manutenção do Cenário Proposto

Sistemas	Estratégia	Tipo de Manutenção
Geração de Energia (Células de energia Ion-Litio)	Monitoramento da Fuga de Corrente da Bateria	Programada ou Preditiva como meio alternativo
Controle Térmico da Geração de Energia	Monitoramento da Indicação Incorreta da Temperatura, Ventilador, Transdutor de Pressão e Válvulas de Controle	Programada ou Preditiva como meio alternativo
Propulsão	Monitoramento dos Rolamentos dos Motores e Degradação dos Estatores	Programada ou Preditiva como meio alternativo
Comandos de Voo (Fly-by-wire)	Monitoramento da Condição dos Sensores de Atitude e Velocidade, Sensores de Posição e Motor Elétrico do Controle dos Flapes e Estabilizadores	Programada ou Preditiva como meio alternativo
Recarga de baterias (células de energia Ion-Lition)	Monitoramento dos Acumuladores e Componentes de Recarga, Fusível de Proteção de Corrente e Térmico	Programada ou Preditiva como meio alternativo
Distribuição Elétrica	Baseada em intervalo de tempo	Programada
Computador Central	Baseada em intervalo de tempo	Programada
Indicação	Baseada em intervalo de tempo	Programada
Navegação	Baseada em intervalo de tempo	Programada
Pouso de Emergência (Paraquedas)	Baseada em intervalo de tempo	Programada
Ventilação & Ar-Condicionado	Baseada em intervalo de tempo	Programada
Comunicação	Baseada em intervalo de tempo	Programada
Iluminação	Baseada em intervalo de tempo	Programada
Trem de Pouso	Baseada em intervalo de tempo	Programada

Três são as situações esperadas no cenário:

1. Falha não prevista confirmada - ação de manutenção corretiva necessária;

2. Falha predita - monitoramento identificou um modo de pane/falha em ação, devendo ser acionada uma ação de manutenção preventiva ou, se houve algum erro de manutenção, uma ação corretiva; e
3. Vencimento do intervalo de manutenção programada - ação de manutenção preventiva é requerida por programação.

As informações necessárias para o desenvolvimento do cenário serão definidas pela aquisição de dados prevista na arquitetura do sistema de Gerenciamento Integrado da Saúde do Veículo - IVHM (*Integrated Vehicle Health Management*), conforme a Figura 2.

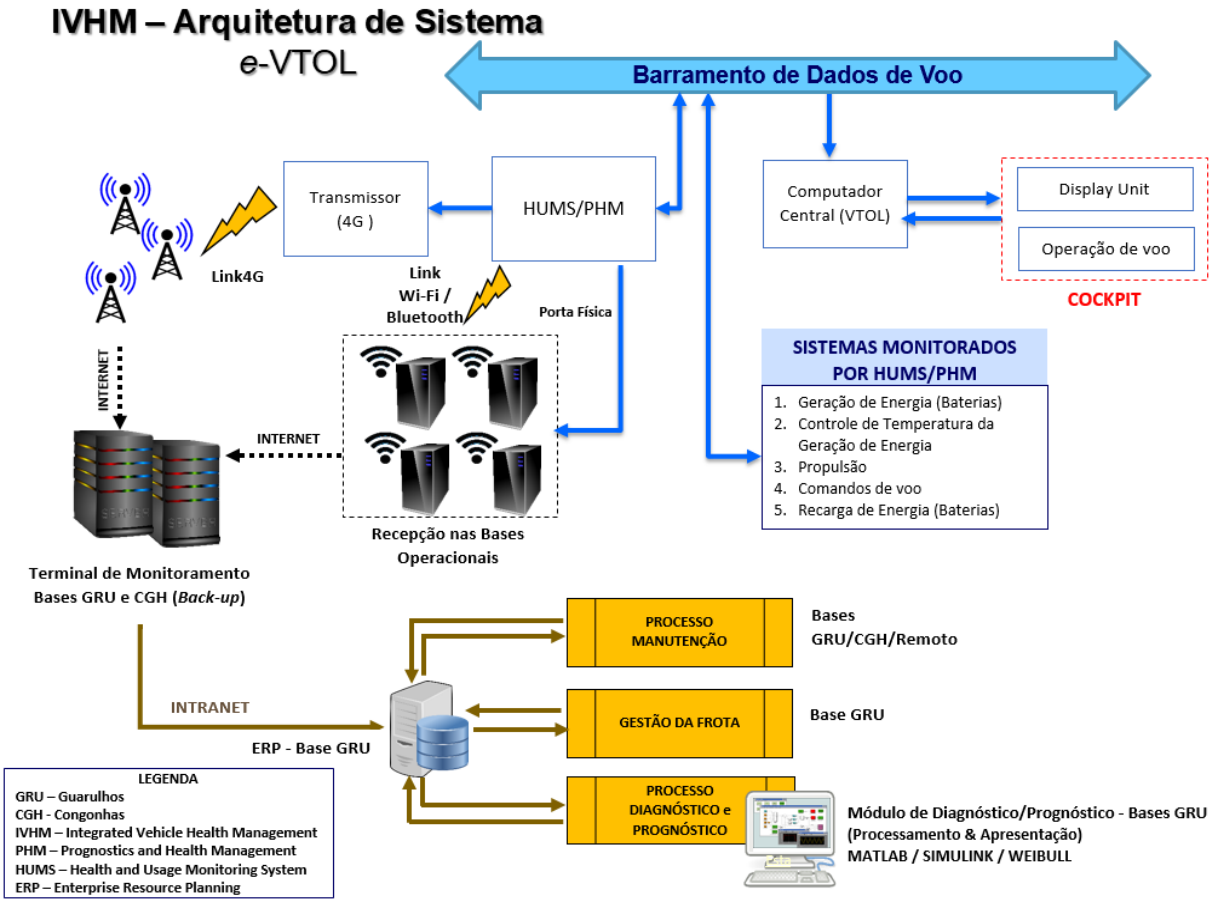


Figura 2: Arquitetura do sistema de IVHM a ser certificado. Fonte:Adaptado de (MARQUES, 2018)

Durante o voo os dados provenientes dos sensores são lançados no barramento de dados de voo. Os sistemas de Monitoramento da Saúde e Uso - HUMS (*Health and Usage Monitoring System*) e de Prognóstico e Gerenciamento da Saúde - PHM (*Prognostics and Health Management*) acessam os dados dos sensores e realizam o monitoramento e gerenciamento da saúde dos sistemas informados na Tabela 1. O computador central emitirá um alerta para aviso ao piloto sempre que um valor de segurança for ultrapassado para que o piloto tome as providências necessárias para trazer a aeronave ao solo com segurança. As demais informações serão gravadas no gravador de voo e transmitidas à equipe de manutenção de solo, de acordo com a necessidade da operação. Se algum sistema crítico precisar de manutenção um alerta será enviado a partir da disponibilidade de rede 4G em voo. Se não, ao pousar o sistema transmitirá para a estação mais próxima as informações necessárias, segundo disponibilidade de rede ou acesso físico aos dados gravados na aeronave.

Os dados são então transmitidos à uma estação de processamento de dados centralizada na base, neste caso hipotético em Guarulhos, para que a análise dos dados da aeronave venha a compor o banco de dados da

frota e seu histórico de operação seja analisado, para acompanhamento do cálculo de vida-útil remanescente (RUL) e prognóstico de disponibilidade segundo as futuras missões a serem realizadas. Com os dados analisados no contexto da frota, poder-se-á analisar a tendência do grupo de aeronaves e identificar padrões, definir planos de manutenção particularizados, segundo a demanda e degradação de cada sistema.

Este modelo permite que sejam acompanhados individualmente cada sistema, possibilitando uma alteração do paradigma de manutenção puramente programada para a manutenção preditiva. No entanto, há que se verificar e validar esta arquitetura para que ações de manutenção baseadas no monitoramento da condição sejam capazes de substituir ações de manutenção tradicionais.

4. VALIDAÇÃO DO CENÁRIO

O principal aspecto a ser considerado na certificação para crédito de uma Programa de Manutenção Híbrido contendo manutenção programada e preditiva é a aplicação do conceito de processo ponta-a-ponta (*END-TO-END*), no qual o monitoramento de saúde considera sistemas embarcados e não embarcados, incluindo análises técnicas realizadas por equipes de gestão da saúde da frota.

A Certificação para Crédito é a confirmação de que as informações geradas dentro de um fluxo IVHM, ou seja, aquisição de dados, processamento, gravação, transmissão e recepção para estações em solo, execução de algoritmos para diagnóstico e definição do melhor momento para realização da manutenção, através de algoritmos para prognóstico, possuem a mesma credibilidade da manutenção programada quanto à detecção de degradações e falhas. Outro aspecto importante é a garantia de que parâmetros monitorados não sofram influências de outros sistemas embarcados, interferências eletromagnéticas, falhas de processamento de hardwares e softwares COTS (*Commercial Off-The-Shelf*) ou ataques cibernéticos.

Para validação da arquitetura de IVHM mostrada na Figura 2, é necessário recorrer às metodologias e normas descritas na Seção 2 e seguir 5 etapas processuais para demonstração de credibilidade de um processo de monitoramento certificável para crédito:

- Categorização dos Sistemas HUMS/PHM;
- Utilização da metodologia MSG-3 e complemento IP 180;
- Instalação e Qualificação de Equipamentos;
- Desenvolvimento de um Programa de Manutenção Híbrido com reavaliações periódicas; e
- Desenvolvimento de procedimentos de manutenção preditiva.

Segue abaixo discussão de cada etapa a ser seguida:

4.1. CATEGORIZAÇÃO DOS SISTEMAS HUMS/PHM

A primeira etapa do processo de Certificação para Crédito proposto neste artigo é a categorização do sistema HUMS e PHM dentro do escopo *END-TO-END* que será candidato a ser mantido por manutenção preditiva. Para isso, seguiremos a definição das categorias de criticidade, de acordo com a AC 29-2C, como Catastrófico, Severo, Maior, Menor e Sem-efeito para aplicação da melhor estratégia de manutenção ou até a combinação de diferentes estratégias.

A manutenção preditiva não será aplicável para os sistemas HUMS e PHM com criticidade catastrófica, pois deverão ser obrigatoriamente mantidos através de manutenção programada (limitação de escopo) com intervalos fixos definidos, conforme documentação técnica certificada, nível de redundância e confiabilidade. No entanto, para as outras criticidades, tanto a aplicação da manutenção programada como a preditiva poderão ocorrer dependendo das opções oferecidas e escolha final do usuário.

A Tabela 2 indica o nível de manutenção aplicável para proposta de Certificação para Crédito nos sistemas HUMS/PHM do e-VTOL

A arquitetura de sistemas, assim como hardwares e softwares embarcados seguirão os requisitos aplicáveis e utilizados para a certificação de tipo. Nessa etapa do processo, LRUs de cada sistema serão avaliados e

classificadas quanto à prontidão de monitoramento através de sensores e transdutores que possam produzir informações com a qualidade e quantidade necessária para os sistemas clientes embarcados e funções de monitoramento da saúde.

O resultado dessa fase trará conhecimento sobre funcionalidades do sistema em análise, causas, modos de falha, prontidão de monitoramento e efeitos no e-VTOL.

Tabela 2: Criticidade HUMS/PHM e aplicação da abordagem de manutenção

Criticidade do Sistema HUMS/PHM	Manutenção Programada (Limitações)	Manutenção Programada (MSG-3)	Manutenção Preditiva
Catastrófico	Aplicável	Não aplicável	Não aplicável
Severo	Não aplicável	Aplicável	Aplicável
Maior	Não aplicável	Aplicável	Aplicável
Menor	Não aplicável	Aplicável	Aplicável
Sem efeito	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável

4.2. UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA MSG-3 E COMPLEMENTO IP 180

A próxima etapa do processo é a estruturação do programa de manutenção e definição das instruções de aeronavegabilidade continuada necessárias para o processo de certificação do e-VTOL.

Primeiramente, todos os sistemas do e-VTOL deverão ser analisados quanto a possibilidade de serem classificados como MSI (*Maintenance Significant Item*) e de terem LRUs listados conforme a metodologia de sistemas MSG-3. Essa etapa, após a aplicação da análise de Nível 1, destinada à categorização dos efeitos das falhas, e análise de Nível 2, avaliação da aplicabilidade e efetividade de tarefas de manutenção programada, resultará em um programa de manutenção inicial visando à segurança da operação e disponibilidade da frota, ao menor custo possível.

Na sequência, é utilizada a metodologia complementar descrita no documento IP 180, no qual cada LRU relacionado às causas ou modos de falhas de um MSI é avaliado quanto a capacidade de oferecer parâmetros de monitoramento para a prática do PHM. De acordo com o IP 180 somente tarefas originadas da análise de Nível 2, também chamadas de tarefas clássicas, poderão ser substituídas ou terem escopos modificadas pela possibilidade de uso da manutenção preditiva. No entanto, esse processo poderá ser estendido como recomendação, para fins de monitoramento de performance de sistemas ou LRUs não cobertos por tarefas de manutenção clássica, visto que o investimento necessário para a implementação de um sistema IVHM não é viável para falhas classificadas como sem efeitos.

Sistemas HUMS/PHM classificados como Severo, Maior e Menor com causas e modos de falhas cobertos por tarefas de manutenção programada categorizadas como efeito segurança (CAT 5/8), efeito operacional (CAT 6) e efeito econômicos (CAT 7), de acordo com a metodologia de MSG-3, serão submetidos à análise de Nível 3, conforme explicado na Seção 2. É importante observar que, para componentes com taxas de falhas constante, a seleção da manutenção preditiva não é recomendada, pois a predição ocorrerá somente quando tivermos características de degradação presentes e tecnicamente conhecidas.

Após a aplicação do Nível 3 e definição de tarefas preditivas que poderão substituir a manutenção preventiva clássica ou transformá-la em manutenção programada híbrida, os manuais de manutenção deverão ser atualizados para fornecer informações

técnicas necessárias para o estabelecimento do processo de monitoramento de saúde e execução da manutenção dentro de um prazo definido pelos algoritmos de prognóstico.

4.3. INSTALAÇÃO E QUALIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS

É considerada uma das etapas mais complexas no processo de certificação para crédito, devido à necessidade de avaliação da função Monitoramento de Saúde dos MSIs, a instalação e a qualificação de equipamentos. Nesse caso, é necessário considerar tanto os sistemas embarcados quanto às estações de recepção e infraestrutura de solo constituídos por hardwares e softwares COTS.

Dois níveis de análise estão propostos nesse artigo para assegurar a capacidade dos componentes embarcados e não embarcados de estarem desempenhando as funções pretendidas dentro do escopo do IVHM. São eles:

- Análise funcional de Equipamentos Embarcados - A metodologia MSG-3 de sistemas deverá ser aplicada aos LRUs embarcados como sensores, transdutores, sistemas de processamento e instrumentação, computadores centrais com módulos de gravação de dados e módulos HUMS/PHM, barramento de dados e transmissores (Celular/Wi-Fi). Seguindo o processo da análise MSG-3, a descrição do funcionamento de parte do processo IVHM embarcado, assim como especificação de LRUs e dados de confiabilidade, se existentes, deverão ser devidamente registrados. Na sequência, a função de monitoramento da saúde, falhas funcionais, efeitos das falhas, causas e modos de falhas deverão ser definidos para posterior execução das análises de Nível 1 e Nível 2. Como resultado final, podemos ter tarefas de manutenção programada como inspeção, verificações operacionais e funcionais aplicáveis e efetivas em LRUs, assegurando a função de Monitoramento de Saúde conforme especificação de projeto; e
- Análise qualitativa de Equipamentos em Solo (COTS) - Considerando que todos os equipamentos que formam a infraestrutura necessária para a análise de saúde e prognóstico da frota não seguem a mesma especificação do projeto do veículo, propomos a adoção de uma análise qualitativa dos equipamentos e softwares, levando em consideração a categoria da manutenção programada preterida a ser substituída pela manutenção preditiva. Sempre que tivermos efeitos na segurança da operação, os equipamentos em solo deverão ser qualificados seguindo critérios mais rigorosos. Para efeitos operacionais e econômicos os critérios podem ser mais leves, sendo que é a opção do usuário final identificar a necessidade de maior rigor nos níveis de qualificação. A análise qualitativa deve seguir as condições estabelecidas na Figura 3.

4.4. DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA DE MANUTENÇÃO HÍBRIDO COM REAVALIAÇÕES PERIÓDICAS

A certificação para crédito do uso da manutenção preditiva como alternativa à manutenção programada irá ocorrer junto à autoridade local com a aprovação do PMA (Programa de Manutenção Aprovado) baseado no programa de manutenção fornecido pela fabricante, contendo tarefas de manutenção preditivas e programadas. Como complemento, o PMA deverá conter a lista de ações de manutenção programada e corretiva para a infraestrutura de equipamentos em solo conforme subseção 4.3.

O fabricante do e-VTOL é obrigado a manter o programa de manutenção atualizado conforme a experiência operacional acumulada pela frota mundial do e-VTOL e o usuário final deverá descrever no PMA o processo de revisão do mesmo, considerando atualizações do fabricante, atualizações devido à experiência operacional dele e, por fim, atualização da infraestrutura aplicada no processo *END-TO-END* do sistema HUMS/PHM, quando ocorrer. Este processo de atualização permitirá o balanceamento entre manutenção e operação visando a segurança e disponibilidade com baixos custos operacionais e manutenção.

A revisão deverá ser executada no máximo a cada 18 meses após a aprovação do PMA junto à autoridade local.

Equipamentos em Solo
Quesitos para Análise Qualitativa

- Provedores de Serviço qualificados pela ANATEL com experiência comprovada em operações similares;
- Ampla área de cobertura da operação do e-VTOL; (*)
- Sistema de backup em caso de falhas nos receptores; (*)
- Inspeções visuais nos receptores conforme experiência do fabricante e prestador de serviço. (*)



Receptores
(Celular / Wi-Fi / Bluetooth)

- Provedores de Serviço qualificados pela ANATEL com experiência comprovada em operações similares;
- Largura de banda conforme quantidade de dados + 15% de tolerância); (*) (**)
- Testes rotineiros para garantir velocidade, quantidade e qualidade dos dados transmitidos; (*)
- Sistema de backup em caso de falhas nos receptores. (*)



Comunicação
INTERNET

- Dimensionados e qualificados com histórico comprovado de confiabilidade.
- Redundância na quantidade e processamento. (*)
- Operação em ambiente climatizado com controle e monitoramento ativo; (*)
- Instalações elétricas seguindo as normas vigentes.
- Fornecimento de energia elétrica back-up para as instalações. (*)
- Plano de manutenção preventivo da infraestrutura conforme especificação dos fornecedores e/ou normas regulatórias.



Terminais e
Servidores

- Projeto de rede dimensionado para a banda de comunicação + 15% de tolerância. (*) (**)
- Uso de equipamentos qualificados e cabeamento com fibra ótica.
- Backup de equipamentos e sistemas de cabeamento com fibra ótica.
- Testes rotineiros para garantir velocidade, quantidade e qualidade dos dados transmitidos; (*)



Comunicação
INTRANET

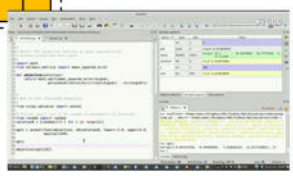
FLUXO DE DADOS

Computadores & Monitores

- Equipamentos com histórico de uso comprovado em aplicações com criticidade similares;
- Backup Computador & Monitor disponível;
- Processadores redundantes fabricados em lotes diferentes;
- PBIT/CBIT (do inglês Power-up Built In Test e Continuous Built In Test) para identificação de falhas;
- Monitores de mesmo fabricante dos computadores (*)
- Operação em ambiente climatizado e controlado;
- Fornecimento de energia elétrica back-up para as instalações. (*)
- Plano de manutenção preventivo da infraestrutura conforme especificação dos fornecedores e/ou normas regulatórias.







ERP - Base

Softwares

- Software DAL C (Design Assurance Level) (***)
- Qualificação de softwares através de testes e critérios baseados no uso final da aplicação.
- Programa de testes e validação por até 12 meses. (*)
- PBIT/CBIT para identificação de falhas; (*)
- Sistema de proteção contra vírus com credibilidade. (*)
- Software em uso por empresas com processos similares (*)

Algoritmos

- Participação de especialistas conhecedores dos fenômenos físicos de degradação e falhas de componentes no desenvolvimento de algoritmos.
- Plano de validação dos algoritmos por 12 meses ou uso de informações baseadas em ensaios acelerados para comprovação da eficácia dos mesmos. (*)

(*) Opcional para certificação de crédito de manutenção preditiva alternativa à manutenção programada sem efeitos na segurança da operação
(**) Tolerância aplicável para efeitos na segurança da operação
(***) Uso de DAL-C elimina outros quesitos para Softwares

Figura 3: Regras para análise qualitativa de Equipamentos em Solo (COTS)

4.5. DESENVOLVIMENTO DE PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA

O procedimento de manutenção, de acordo com os regulamentos de certificação, é considerado parte das instruções de aeronavegabilidade continuada e, tanto para a manutenção programada como para a preditiva, deverá conter informações necessárias para que os mantenedores possam garantir os objetivos de cada estratégia de manutenção em uso.

Recomendamos as etapas abaixo como mínimo conteúdo do procedimento para a realização da manutenção preditiva:

1. Intervalo mínimo de coleta e transmissão de dados;
2. Intervalo mínimo de análise de dados quando o monitoramento for passivo (informação é recebida após transmissão pelo componente) ou estiver offline (informação é arquivada durante a operação);
3. Intervalo mínimo de verificação do sistema de monitoramento quando o mesmo for ativo (informação é requisitada ativamente pelo usuário final) ou tempo real (informação é recebida durante a operação do componente);
4. Softwares e Hardwares utilizados (COTS ou não COTS);
5. Instruções de mitigação quando o monitoramento não estiver funcionando;
6. Plano de qualificação do processo de solo (aplicável quando a manutenção preditiva é alternativa à tarefa programada com efeito na segurança, conforme metodologia MSG-3);
7. Nível de qualificação técnica necessária da equipe que realizará o monitoramento da saúde; e
8. Instruções para manutenção programada do sistema embarcado, se necessário, visando a disponibilidade da função "monitoramento de saúde".

5. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou proposta técnica que viabiliza o uso da manutenção preditiva como um meio alternativo à manutenção programada através de solução híbrida baseada na metodologia MSG-3, AC 29-2C e IP 180 para uma arquitetura de IVHM de um e-VTOL que apresenta uma operação em ambiente urbano.

Esta metodologia híbrida, que deve considerar o sistema *END-TO-END*, é viabilizada através do uso da Manutenção Baseada na Condição e análise em Nível 1, Nível 2 da metodologia MSG-3 e com a metodologia complementar denominada de Análise de Nível 3 para identificação das LRUs para as quais é aplicável a manutenção preditiva.

Foi recomendado um procedimento em 08 (oito) passos para a realização da manutenção preditiva cujo resultado é a identificação das tarefas preditivas que farão parte do programa de manutenção híbrida junto às tarefas de manutenção preventivas.

Os trabalhos futuros podem focar nas implicações contratuais de uma troca anterior à falha real de uma LRU, pela utilização do PHM, e na segurança cibernética dos dados compartilhados na arquitetura do IVHM.

Espera-se que este trabalho seja uma abertura para discussões a respeito do assunto devido à demanda atual de sistemas e-VTOL para uso urbano e que terão o mesmo desafio de certificação de crédito na infraestrutura de apoio.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5462:1994: Confiabilidade e mantenabilidade-Referências -Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ATA, MSG-3- Operator/Manufacturer Scheduled Maintenance Development, Revision 2015.1. Air transport Association of America, Inc., Washington, DC, 2015.

EASA, IP 180 - Aircraft Health Monitoring (AHM) integration in MSG-3. European Aviation Safety Agency´s International Maintenance Review Policy Board, 2018. <https://www.easa.europa.eu/ document-library/imrbpb-issue-papers>. Acessado em 24 Jul 2018.

FAA, Advisory Circular AC 29-2C – Certification of Transport Category Rotorcraft. U.S. Department of Transportation. Federal Aviation Administration, 2018. Disponível em: < http://www.faa.gov/documentLibrary /media/Advisory_Circular/AC_29-2C_with_changes_1-8.pdf >. Acessado em 11 Jul 2018.

JONES V. J., "Integrated Logistics Support Handbook", 3rd Ed., Sole Logistics Press, Mc Graw-Hill, 2006.

MARQUES, H. C., Trabalho Final do Curso da disciplina de TE-263 Introdução à Tecnologia da Informação para a Manutenção de Sistemas Aeroespaciais Complexos – e-Maintenance, do Instituto Tecnológico de Aeronáutica. ITA, 2018.