

UMA ANÁLISE QUALITATIVA DA FILOSOFIA HUMS NA MANUTENÇÃO PREDITIVA FOCADA NO NÍVEL VIBRATÓRIO DEVIDO A CONDIÇÕES OPERACIONAIS DE HELICÓPTEROS

Rafael de Abreu González ¹
Donizeti de Andrade – D.Sc. ²

Artigo submetido em 15/09/2010.

Aceito para publicação em 17/11/2010.

RESUMO: Os HUMS (*Health and Usage Monitoring Systems*) nasceram na atividade *offshore*, sendo um dos tipos de sistemas de monitoramento de condição - HMS que também consideram parâmetros de emprego dos helicópteros. Alinhados à filosofia da manutenção preditiva, suas ações propõem garantir a aeronavegabilidade continuada e reduzir custos operacionais pelo diagnóstico antecipado e prognóstico de falhas, principalmente por meio de sensores de vibração, cujos dados são tratados por algoritmos dedicados a funções cada vez mais expandidas e integradas a outros subsistemas. Este artigo objetiva apresentar, como um painel prático, um breve sumário qualitativo desses sistemas, segmentado em: histórico e evolução do mercado; arquitetura; benefícios, desvantagens, limitações; desafios da certificação; e perspectivas de aplicação.

PALAVRAS CHAVE: Helicópteros. HUMS. Vibração.

1 INTRODUÇÃO

Este artigo objetiva propor uma análise qualitativa da aplicação da filosofia HUMS (*Health and Usage Monitoring Systems*) na manutenção preditiva, focada no nível vibratório correspondente às condições operacionais de helicópteros. Para

¹ Graduado em Ciências Navais pela Escola Naval, 1996, e em Engenharia Aeronáutica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), 2003; Especialista em Segurança de Voo e Aeronavegabilidade Continuada pelo ITA (PE-Safety), 2009; atualmente cursa o Mestrado Acadêmico em Engenharia Aeronáutica e Mecânica no ITA. rafael@ita.br.

² Engenheiro Aeronáutico pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), 1983; Mestre em Engenharia Aeronáutica pelo ITA (1987), Master of Science e Ph.D. in Aerospace Engineering - Georgia Institute Of Technology (1992/1992); Especialista em Segurança de Aviação pela University of Southern California (USC), 2002; e Master in Business Administration pela parceria ITA-Escola Superior de Propaganda e Marketing (2003). Foi militar da ativa de 1974 a 2004, tendo servido por 4 anos no Exército Brasileiro e 26 anos como Oficial-Engenheiro da Força Aérea Brasileira. É professor colaborador de graduação e pós-graduação do ITA e coordenador do Curso de Especialização em Segurança de Aviação e Aeronavegabilidade Continuada (PE-Safety) e do Curso de Mestrado Profissional em Segurança de Aviação e Aeronavegabilidade Continuada (MP-Safety), na parceria ITA-CENIPA. deandradedoni@gmail.com.

isso, adota como metodologia a apresentação de um breve sumário qualitativo na forma de um painel prático, segmentado em: histórico e evolução do mercado; arquitetura; benefícios, desvantagens, limitações; desafios da certificação; e perspectivas de aplicação. O esforço de pesquisa se justifica no potencial dos HUMS para melhorarem a segurança de voo através de sua proposta de garantir a substituição de componentes sempre antes de suas falhas, sob diagnósticos e prognósticos antecipados que incrementam a confiabilidade e reduzem custos operacionais.

Os sistemas de monitoramento de condição HMS (Health Monitoring Systems) foram inicialmente desenvolvidos para incrementar a segurança em aviões comerciais. Atualmente, neste setor, a análise das informações coletadas por algumas empresas operadoras integram o programa de garantia de qualidade de suas operações de voo – FOQA (Flight Operational Quality Assurance), a partir do qual se pode identificar tendências potencialmente perigosas de operação e de utilização de componentes (AVIATIONTODAY, 2010a), permitindo, inclusive, apontar a necessidade de treinamentos.

Contudo, esforços no desenvolvimento de um tipo particular de HMS, que levaram em consideração parâmetros de utilização como a contagem de ciclos/tempo de operação e registros de dados de voo (FDR) e de excedência de limites recomendados (torques e velocidades), se concentraram nas aeronaves de asas rotativas: os sistemas de monitoramento de condição e emprego HUMS (Health and Usage Monitoring Systems). Neste caso, além de acompanhar a degradação dos grupos motopropulsor; trens de pouso; caixas e eixos de transmissão; célula; e ajuste de rotores (rotor tuning) - balanceamento e trajetória das pás (blade tracking), há o diferencial dos respectivos benefícios do registro de desempenho e indicação da excedência de limites operacionais, que podem comprometer significativamente a expectativa de vida de um componente. Para isso os HUMS contam com uma variedade de sensores (principalmente acelerômetros para coleta de dados de vibração) integrando um denominado sistema de aquisição

de dados, que ainda pode incluir ambas as funções do registrador de vozes e dados de voo (CVR e FDR) (AVIATIONTODAY, 2010b).

Esses dados podem ser processados simultaneamente ao voo (a bordo da aeronave ou em uma estação de solo via cartões de dados (AVIATIONTODAY, 2010b) para, desde que adequadamente interpretados, modificar (antecipar/postergar) a programação requerida de manutenção bem como as próprias ações operacionais da tripulação antes até do próximo pouso.

Espera-se de sistemas completos como os HUMS a aquisição, análise, comunicação e armazenagem dos dados advindos dos sensores de monitoramento permanente dos itens críticos e, por isso, essenciais à segurança de voo (AVIATIONTODAY, 2010a)., visando à limitação do risco de dano humano e/ou material a um nível aceitável a definir pelo Risk Assessment.

Neste contexto, ressalta-se o grande número de sistemas rotativos e críticos atuantes em helicópteros, peculiaridade cujos efeitos classificam-se como eventos catastróficos na categoria de severidade dos defeitos (perdas da aeronave e de vidas humanas). Assim, a tecnologia de monitoramento da grandeza vibração para detecção de falhas associadas surge da demanda pela antecipação de diagnósticos e prognósticos eficazes. E, então, os HUMS, desde a última década, ampliam sua aceitação como uma estratégia alinhada à eficácia da filosofia de manutenção preditiva, atualmente, e são utilizados como um método a esta, complementar, para garantir a aeronavegabilidade continuada (CORTES ; ALBUQUERQUE , 2009), definida como a garantia do nível certificado de segurança durante todo ciclo de vida operacional do produto (aeronave e/ou seus sistemas) (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2008).

2 HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DE MERCADO

Situando o leitor na linha do tempo, pode-se observar como a natureza da manutenção reflete a capacidade tecnológica adquirida. Nos primórdios da aviação imperava a manutenção reativa, por deficiência de dados de desempenho dos

componentes envolvidos. Neste caso nenhuma ação de manutenção era necessária até ocorrer uma falha, caracterizando um baixo nível de segurança e altos custos diretos (reparos maiores) e indiretos (indisponibilidade). Ciente das peculiaridades de risco da atividade aeronáutica, as especificações da certificação correlata ficaram mais restritas e suscitaram avanços nos processos de fabricação que tornaram os itens mais confiáveis. A previsibilidade de comportamento destes, adquirida das observações experimentais e estatísticas de operação, criou condições para uma manutenção proativa, de caráter antecipativo às falhas. A primeira delas, baseada em tempo/ciclos de operação, foi estabelecida sob uma filosofia preventiva. Nessa situação, substituem-se cada componente em função de agendamentos prévios, conforme sua concepção de projeto *fail safe*, *safe life* ou *Damage Tolerance*. E assim, por décadas, componentes de grande valor monetário foram removidos e descartados com base nas projeções de desempenho dos fabricantes. Muitas vezes, bem antes de o componente estar verdadeiramente não-utilizável e às vezes até indesejavelmente depois de o mesmo falhar. Na busca incansável por eficiência de operação (obviamente dos resultados financeiros a ela associados), dependente da segurança e disponibilidade, a indústria continuou evoluindo em tecnologia. À medida que se permitiu um melhor entendimento da dinâmica dos fenômenos envolvidos, domínio dos processos de fabricação, bem como a capacidade de mensurar e processar as evidências de desempenho, avançou-se em mais uma metodologia de “ter à mão” as aeronaves: a filosofia baseada na condição. Nesse caso, os componentes de aeronaves e sistemas são monitorados para se projetar quando sua falha é provável sob critérios pré-estabelecidos de análises de risco. Logo, de forma ideal, os componentes são utilizados até a totalidade de sua vida útil e sem a necessidade de substituição prematura, reduzindo custos operacionais e ainda sob a vantagem preponderante de serem sempre substituídos antes das falhas, potencialmente incrementando a segurança e confiabilidade.

Outrossim, os HUMS ganharam destaque na função de transição entre a filosofia tradicional de manutenção preventiva e a nova filosofia baseada em

condição (SCHAEFER; HAAS, 2002). Originados há trinta anos (AVIATIONTODAY, 2010a), tiveram seu primeiro voo certificado em 1991, a bordo de um helicóptero de transporte em apoio às atividades *offshore* no Reino Unido (Mar do Norte)(AVIATIONTODAY, 2010b). Encomendado pela Autoridade Aeronáutica Civil Britânica (CAA), investiu-se no desenvolvimento de sistemas que poderiam fornecer a então detecção antecipada de defeitos e, na medida do possível, a capacidade de prever/gerenciar uma janela de operação segura da frota. Oito anos mais tarde, a autoridade americana de aviação civil - FAA (*Federal Aviation Administration*) emitiu os requisitos de aeronavegabilidade para helicópteros da categoria normal e transporte AC-27-1/AC-29-2C, como orientação à certificação de instalação de HUMS (AVIATIONTODAY, 2010b).

Hoje, para inibir possíveis distrações comprometedoras da consciência situacional do voo, os pilotos, confiantes no “North Sea HUMS” (PIPE, 2002), dispensam a notificação de tendência de desempenho no *cockpit* - dado essencial somente à avaliação da central de monitoramento no solo.

A aceitação dos HUMS cresce e as forças armadas dos EUA continuam a desenvolver capacidades de HUMS para diagnósticos e prognósticos mais precisos. Vale a pena citar: o sistema já é padrão e plenamente operacional nos Sikorsky S-92 e S-76 C+, e no Eurocopter EC-135; e ainda é oferecido como uma opção no AgustaWestland AW-139 (AVIATIONTODAY, 2010b).

Aguarda-se confirmação oficial se as Forças Armadas Brasileiras receberão ainda em 2010 sua primeira aeronave equipada com HUMS e ainda CVR/FDR, o Eurocopter EC725 Super Cougar. Seria interessante que o pacote de 51 aeronaves contemplasse o que há de atual no mercado: CVR e FDR comandados por sondas de imersão e sensores inerciais para interrupção da gravação (capacidades padrão de 2 e 10 horas, respectivamente); monitoramento de desgaste por sensores eletromagnéticos de limalhas nas três caixas de transmissão; e checagem da garantia de potência dos motores e análise automática via AHCAS (*Advanced Helicopter*

Cockpit Avionics System). O mercado *offshore* nacional já conta com sistemas avançados como o HOMP (*Helicopters Operation Monitoring Program*), sistema que acompanha cada voo detalhadamente, padroniza as operações e identifica previamente qualquer problema na sua qualidade. São associados aos HUMS, tendo sido recentemente adicionados às aeronaves S-92 e S-76 C++, por exemplo. Em paralelo, muitos outros operadores estão adaptando suas frotas de helicópteros a esses novos equipamentos (AVIATIONTODAY, 2010b).

A relação dos maiores fabricantes de HUMS incluem a Smiths Industries do Reino Unido, que adquiriu a SHL - responsável pelas pesquisas que culminaram naquele voo pioneiro; e a americana *Goodrich*, grande e tradicional fornecedora deste tipo de sistemas ao mercado civil e militar global. Este mercado tem novos entrantes oriundos da área de estruturas, cujo planejamento estratégico foca ampliar a quantidade de clientes através do desenvolvimento de sistemas similares de baixo-custo (AVIATIONTODAY, 2010a).

O sistema HUMS da Smiths voa atualmente nas Forças Armadas Canadenses (Bell 412); instalado nos Eurocopter Super Puma; Sikorsky S-61 e S-76 de motorização Turbomeca Arriel; AgustaWestland EH-101; e nos aparelhos Bell-Agusta 609 *tiltrotor*, em desenvolvimento. Mais de 250 unidades desse HUMS estão em serviço e acumulam mais de 500.000 horas de voo a bordo dos Boeing HC Mk II Chinooks da Força Aérea Real Inglesa, que monitoram continuamente o *tracking* e balanceamento dos rotores, dispensando, portanto, testes e uso de equipamentos específicos a bordo. A *Smiths* está envolvida em um contrato de 21 milhões de dólares para desenvolver e fornecer HUMS e VCR/FDR para 70 helicópteros Future Lynx do Ministério da Defesa Britânico, distribuídos entre Marinha e Exército e com entrega agendada a partir de 2011. A mesma empresa está desenvolvendo um HUMS para o novo helicóptero multimissão fruto da parceria Indústria Aeroespacial Sul-Coreana /Eurocopter, candidato a substituir a envelhecida frota Bell UH-1 Huey do seu exército (entrega prevista do seu sistema de instalação em 2010, para atender 245 helicópteros). Para a AgustaWestland, a *Smiths* fornecerá um serviço

para análise de dados transmitidos tipo *base-web* para operadores de AW 139 (AVIATIONTODAY, 2010b).

A *Goodrich*, por sua vez, é fornecedora do primeiro HUMS a incorporar a linha de montagem de um aparelho americano (*Sikorsky S-92*), e o domínio dos diagnósticos contempla desde falhas em engrenagens e rolamentos de caixas de transmissão até infiltração de água entre as camadas das pás de material compósito. Seus produtos já se encontram na 3ª e 4ª gerações (esta já com FDR digital incorporado), de acordo com Kip Freeman, diretor de negócios de sistemas governamentais da divisão de sistemas utilitários e de combustíveis da *Goodrich Aerospace*(AVIATIONTODAY, 2010a). A empresa demonstrou sua capacidade de balancear os rotores principais em tandem do *Chinook* sem o uso de um dispositivo específico de detecção por infravermelho para o *tracking*. O algoritmo constante do *Integrated Mechanical Diagnostic HUMS* (IMD-HUMS) pode determinar soluções mais precisas para ajustar os sistemas rotativos fazendo cálculos mais detalhados das vibrações detectadas pelos acelerômetros na cabine do helicóptero. Em outras palavras, simplesmente faz-se uma melhor utilização dos dados normalmente recolhidos pelos HUMS. Esse conceito *trackerless* de *Goodrich* apresenta resultados mais rápidos, dispensa voos de teste repetitivos e custosos e tem sido comprovado em outras aeronaves equipadas com IMD-HUMS, como: *Sikorsky CH-53*, *H-60 BlackHawk* e *MH-60R SeaHawk*; e *Bell AH-1 Cobra* e *UH-1* (AVIATIONTODAY, 2010b).

Os novos equipamentos de monitoramento de vibração (HVM) a equipar em série os helicópteros da *Bell 412* e *212*, e *Agusta A109* e *A119* são fornecidos pela *IAC* e pela *Altair Avionics*, a qual foi adquirida pela fabricante canadense de motores aeronáuticos *Pratt & Whitney*. O sistema *Altair SmartCycle+*, por seus múltiplos canais, monitora o emprego dos motores por parâmetros do gerador de gases e da turbina, como torque, velocidade e temperatura; além dos níveis de vibração e outros parâmetros de HUMS, como a velocidade do rotor principal, velocidade e temperatura do ar externo e altitude(AVIATIONTODAY, 2010a).

3 DESCRIÇÃO E ARQUITETURA

Sucintamente, pode-se descrever a arquitetura básica de um HMS como formada por sensores que transformam as variáveis de interesse de cada aeronave em sinais elétricos, que em seguida são processados e comparados por algoritmos computacionais com um banco de dados históricos (referência) correspondente à variável em questão e apresentado para um operador a bordo, ou para uma central de monitoramento no solo, o estado atual do componente e sua probabilidade de falha, conforme mostrado na Fig.1 (CORTES ; ALBUQUERQUE , 2009)

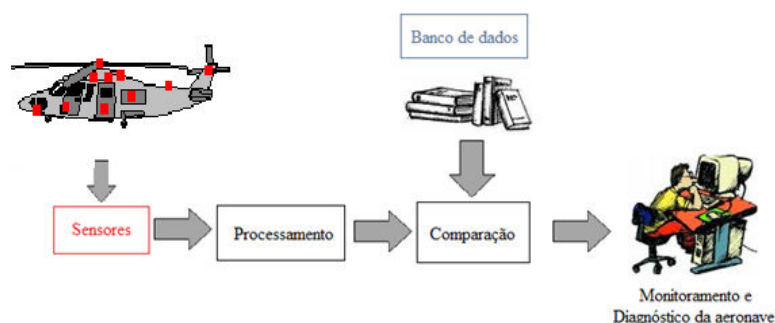


Fig. 1 – Diagrama simplificado de um *Health Monitoring System* (HMS). Adaptado de Cortes; Albuquerque, 2009.

A Fig. 2 mostra um espectro de vibração característico de cada helicóptero, que funciona como sua impressão digital e compõe seu banco de dados vibratórios. Referente a este, em cada faixa de frequência, associam-se as variações na amplitude a discrepâncias do componente correspondente, seja esse rotativo (como o motor, os rotores, e a caixa e eixos de transmissão) ou fixo (como os estabilizadores na fuselagem, etc.).

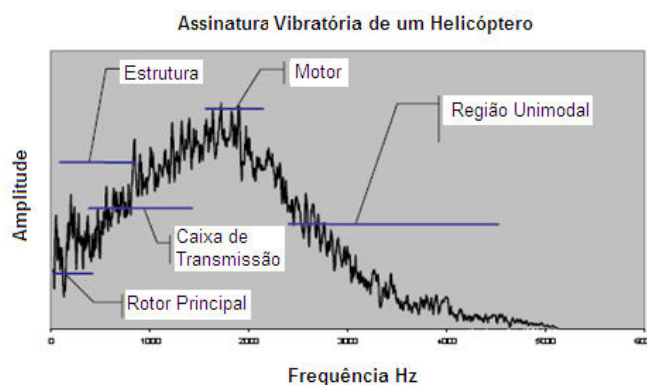


Fig. 2- Espectro de Vibração (assinatura) de um helicóptero. Adaptado de (PIPE, 2002).
ISSN 2176-7777

Os sensores, os olhos do monitoramento da condição da aeronave, podem ser principalmente magnéticos, de temperatura, ou inerciais. Nestes estão os acelerômetros, responsáveis pela coleta das oscilações de resposta da fuselagem às excitações externas, como se vê na Figura 2. Alguns desses elementos são de quartzo ou cerâmica, e os HUMS utilizam-nos sob requisitos especializados de desempenho e confiabilidade, dependendo das peculiaridades da aeronave e parâmetros envolvidos: e em sua maior parte precisam ser herméticos para garantir um eficiente isolamento em ambientes de alta umidade e contaminantes (PCB, 2010). É desejável grande resolução e frequência de resposta para se garantir a identificação do sinal sem erros de amostragem. Alguns superiores, cita-se, as detêm na ordem de respectivos 25 mV/g e 20.000 Hz (+15%) (HELIHUB, 2010).

4 VANTAGENS E BENEFÍCIOS

Em matéria publicada pela empresa Eurocopter são citadas algumas informações estatísticas documentadas no Mar do Norte pela CAA. Aponta-se uma taxa de 70% de sucesso na detecção de falhas, seis delas potencialmente catastróficas, das quais uma ou duas poderiam resultar em um acidente (LOUGEE, 2010), cujos benefícios compõem um retorno do investimento nos HUMS e incluem: uma redução de 60% das inspeções e de 25% de voos de teste; e a diminuição em 20% das intervenções não-programadas (AVIATIONTODAY, 2010a). As vantagens podem ser agrupadas em três abordagens principais:

A- Incremento da confiabilidade e do nível da segurança de voo

Inspeções programadas (calendárias ou por ciclos de vida) na manutenção preventiva são necessárias à confiabilidade dos componentes e sistemas em prol da segurança de voo. Entretanto, por vezes, nenhum dano (trincas, pontos de corrosão, deformações etc.) é encontrado e falhas imprevistas podem ocorrer entre uma inspeção e outra, culminando acidentes, como mostrado na Fig. 3. O emprego de ferramentas do tipo HMS, como os HUMS, oferece constante monitoramento que

possibilita a identificação de uma tendência de falha futura de acordo com algum desvio do padrão de comportamento conhecido do sistema. Desta forma uma intervenção de manutenção preditiva pode ser realizada imediatamente evitando a ocorrência da falha, enquanto protege ainda contra riscos latentes associados a defeitos de fabricação. Por isso, do ponto-de-vista da segurança de aviação, a vantagem preponderante é o fato de os componentes serem sempre substituídos antes das falhas. Daí o potencial dos HUMS de melhorar a segurança e confiabilidade, e reduzir os custos operacionais.



Fig. 3 – Condição (estado) do material pelo tempo usando manutenção programada, baseada no tempo/ciclos; e usando manutenção preditiva, baseada na condição. Adaptado de Cortes ; Albuquerque, 2009.

B- Disponibilidade operacional

A identificação antecipada das tendências de variações nas amplitudes das frequências de vibração da aeronave relacionadas a problemas nos conjuntos rotativos dos helicópteros por muitas vezes eliminam a necessidade da realização de voos de *rotor tuning* dos conjuntos dinâmicos (ajustes de balanceamento e *tracking*). Cabe ressaltar que esta característica permite que a gerência de uma manutenção centrada em confiabilidade (MRM) avalie a possibilidade de definir a melhor oportunidade para se parar a aeronave, aumentando consideravelmente a sua disponibilidade na grade de operação da empresa.

A Goodrich revela através de um exemplo em que as unidades de Black Hawk operando no Iraque e equipadas com HUMS voaram 27% mais missões e

mantiveram uma taxa de disponibilidade mais alta que as unidades não-equipadas com esses sistemas(AVIATIONTODAY, 2010b).

C- Redução dos custos operacionais

A redução dos custos atribuída aos HUMS na manutenção é consequência da redução das próprias ações de intervenção dedicadas ou não-programadas, devida à otimização de programação e da correspondente coordenação de suporte logístico, as quais permitem a utilização reduzida de material consumível (selantes, anéis de vedação, lubrificantes, itens de limpeza, etc.), homens-hora e armazenagem de sobressalentes. Tudo isso através do monitoramento preciso e automatizado da condição de emprego; da redução de eventos de falha falsa NFF (*no-fault-found*); da redução de danos consequenciais devido ao auxílio do diagnóstico precoce; e da melhoria da análise das lições aprendidas do trinômio evento / incidente / acidente(AVIATIONTODAY, 2010b).

O uso de programas do tipo HSM reduz atrasos de manutenção e cancelamentos de voos, evita manutenções desnecessárias, reduz o preço do seguro devido à redução do número de acidentes e incidentes e despesas advindas de sinistros (CORTES ; ALBUQUERQUE , 2009).

Além disso, quando associado a sistemas como HOMP via satélite (atividade *offshore*), que monitora informações diversas da aeronave (posição, altitude, alerta de altura mínima, notificações de decolagem e aterrissagem) o sistema oferece relatórios de planejamento de missão e possíveis ocorrências de não-conformidades e alarmes de condição, que permitem pleno controle da frota, incluindo ainda análise informatizada dos relatórios de prevenção (VIANA, 2009).

Todos estes benefícios financeiros vêm na forma de retorno a um investimento inicial que atualmente é o grande desafio para alguns operadores. Conforme diz Douglas Thompson, gerente geral de desenvolvimento de monitoramento de motores da empresa Altair Avionics- "*It's almost cost-prohibitive in some cases*" (AVIATIONTODAY, 2010a).

A FAA estima que as aeronaves que desfrutam do estado da arte em monitoramento de condição proporcionam uma economia de 892 milhões de dólares por ano devido à redução de despesas com combustível, manutenção e custos diretos relacionados com acidentes (CORTES ; ALBUQUERQUE , 2009).

Pelo ponto-de-vista de um fabricante/mantenedor de motores aeronáuticos, quando se provê garantias deseja-se acompanhar exatamente a condição de vida e possíveis abusos do equipamento(AVIATIONTODAY, 2010a).

5 DESVANTAGENS E LIMITAÇÕES

Há registros de incidentes cuja investigação apontou os HUMS como fatores contribuintes. Segundo Brian Larder, em um deles, envolvendo uma fatalidade, trata-se de um sensor que se encontrava inoperante. Em outro, houve um sério incidente devido à inabilidade da tripulação em confirmar o correto diagnóstico do problema em curso(LOUGEE, 2010).

Este último evidencia a importância de se considerar e acompanhar também, cada vez mais em destaque, os benefícios das pesquisas em fatores humanos e o gerenciamento dos recursos de cabine, tripulação ou corporação (CRM), e/ou ainda os da manutenção (MRM), conforme o caso, que muito afetam prognósticos e tomadas de decisão intrínsecas à segurança de voo. Por isso, a necessidade de treinamento e os desafios inerentes a uma mudança de cultura organizacional são fatores de tomada-de-decisão cujos custos não devem ser descartados.

A introdução de informações de detecção de falhas sem a estrutura de análise de risco associada à severidade da falha nem dos prognósticos das mesmas pode ser vista como uma desvantagem devido ao potencial para aumentar as necessidades de manutenção desnecessárias sob a óptica de não comprometer a continuidade da aeronavegabilidade. Pois nenhum operador quer conviver com a situação de um acidente relacionado a uma falha conhecida, não importa quão bem fundamentado e estruturado tenha sido o processo para a tomada-da-decisão para

não ter agido antes. A responsabilidade civil resultante seria inaceitável, com desdobramentos potencialmente péssimos para novos contratos de seguros, e para a imagem e sobrevivência posterior da organização, em termos de continuidade de seus negócios. Assim, prognósticos com limites atualizados e com monitoramento contínuo de diagnóstico fazem-se recursos imprescindíveis a um HSM(DARR, 2005).

Outra desvantagem potencial do HSM refere-se a esses limites de prognóstico. Se, dentro do nível máximo de incerteza estabelecido para a contínua segurança de operação, eles traduzirem valores consistentemente inferiores à metade do intervalo da manutenção programada tradicional, a oportunidade almejada para uma flexibilidade significativa na gerência da manutenção vai ser reduzida e pode limitar a aplicação do HSM - a menos que as definições desses intervalos se baseiem em probabilidades de falha estatística (alicerçadas no desempenho histórico) e devam ser mais conservadores que os limites de prognóstico adotados para o HSM(DARR, 2005).

Falsos alarmes de HUMS ligados a NFF criados por erros do *software* ou de sensores também afetam negativamente a disponibilidade operacional, de forma que uma taxa de 10% desses em, por exemplo, uma frota de 122 aeronaves, reduziria a disponibilidade operacional em 4% (cinco unidades e 2.000 horas de voo/ano) (SCHAEFER; HAAS, 2002) .

Nas atuais fronteiras de limitação, a maturidade da filosofia do HSM ainda não garante um monitoramento que contemple toda a aeronave. Por razões de compromisso entre precisão e viabilidade de custo, o HSM pode nunca ser capaz de fornecer o desejado acompanhamento econômico de um componente de um determinado sistema ou subsistema e, portanto, talvez sempre se torne necessário exigir uma combinação com a manutenção baseada em tempo. Essa limitação vai variar conforme a natureza do sistema/subsistema e precisa ser avaliada adequadamente(DARR, 2005).

Vale aqui ressaltar, em tom de uma reflexão essencial diante das vantagens

colocadas da seção anterior, que desvantagens e limitações serão sempre identificadas conforme uma nova tecnologia é adotada no teatro operacional. Cabe aos atores envolvidos (fabricantes, mantenedores, fornecedores, usuários e autoridades de aviação civil) discuti-las e refiná-las incansavelmente a fim de criar alternativas viáveis para contorná-las ou reduzi-las a níveis aceitáveis, atingindo então um balanço positivo em prol da segurança de aviação.

6 DESAFIOS DA CERTIFICAÇÃO

Entende-se como certificação a comprovação de que o projeto atende aos requisitos para sua operação segura. Os requisitos básicos para uma certificação de tipo (de um produto aeronáutico) são: qualificação e instalação do sistema/equipamento que coleta, armazena e apresenta as informações; atividades de validação das demonstrações de cumprimento de requisitos (que envolvem a compreensão da física envolvida no mecanismo de falhas) e da metodologia (que analisa o quão bem os HUMS podem ditar as ações de manutenção baseadas na análise dos dados de condição e emprego); e as instruções para a aeronavegabilidade continuada, que implica, dentre outras: em instruções para operação e controle para cada item; procedimentos para o caso de inoperabilidade; e programa de treinamento e requisitos para ações de mitigação. A criticalidade é aqui definida como o nível de severidade das consequências indesejadas pelo uso dos HUMS na segurança de voo. Por meio de uma avaliação de perigo funcional, esse termo é classificado pela FAA em cinco categorias (em sequência decrescente): catastrófico, potencial perigo, maior, menor, sem efeito), os quais determinam o rigor do processo de certificação para o equipamento, *software* e sistemas(LOUGEE, 2010).

Nesse criterioso contexto, o desafio inédito da certificação reside na criação e análise de cenários diversos a que se deve prover segurança, sob as piores hipóteses, onde impera a complexidade associada aos modelos estatísticos

probabilísticos e a integração de múltiplos subsistemas, tanto embarcados como baseados em solo.

Por esses motivos, os HUMS estão no foco da atenção das agências regulatórias de aviação civil, como é o caso da FAA, que emitiu a 3ª alteração dos requisitos de certificação para a categoria helicópteros de transporte através da *advisory circular* (AC 29-2C); e da CAA, que em 1999 emitiu a AAD 001-05-99 CAP 693 *Acceptable Means of Compliance Helicopter Health Monitoring* (LOUGEE, 2010).

Aquela AC foca o processo de manutenção de aeronaves e descreve um guia de requisitos necessários para certificação da instalação de um HUMS aeronavegável, com instruções para a aeronavegabilidade continuada de um amplo portfólio de aplicações, visando à aprovação da autoridade aeronáutica de certificação. É previsto que os desenvolvedores possam sugerir outros métodos de comprovação dos requisitos além dos preconizados nesse documento; porém, os mesmos deverão ser previamente aprovados pela FAA. Ainda assim, destaca-se a seguir os seguintes elementos-chave de criticalidade que devem ser atendidos para a garantia da segurança (LOUGEE, 2010):

1. Avaliação de criticalidade nas fronteiras de aplicação e efeitos no helicóptero. No passado os dados advindos dos HUMS já se mostravam valiosos, mas não detinham caráter crítico de segurança de voo, pois eram utilizados em paralelo a regimes de manutenção tradicionais, ou, por exemplo, como instrumentos de suporte pós-venda no acompanhamento de equipamentos sob garantia. A partir do momento em que se podem utilizar as informações de saída dos HUMS para ajustar as práticas estabelecidas de manutenção ou se pode ser o único meio de indicação das condições da aeronave para a tripulação, a criticalidade do sistema deve ser determinada e o rigor da certificação adotado. Deve-se destacar que o processo de certificação desse sistema deve ser criterioso ao nível das consequências perigosas possíveis às ações inadequadas, que podem ser tomadas em sua consideração, bem como o impacto de sua instalação;

2. Considerações especiais para equipamentos de solo são relevantes, haja vista que devem ser consideradas as mesmas criticalidades dos itens embarcados; e quanto aos chamados itens *off-the-shelf* (retirados diretamente da prateleira), isto é, sem sistema certificado, são adotadas para contornar os rigores de uma certificação de *software*;

3. Validação de técnicas de monitoramento, algoritmos, parâmetros e critérios de rejeição;

4. Ações de intervenção associadas aos dados de monitoramento dos HUMS, que constituem em estender a vida de um item além da programação preventiva, salvando custos, ou reduzi-la a fim de evitar a falha antes do previsto na manutenção baseada no tempo; e

5. Ações de certificação para mitigação, ou seja, estabelecimento de fatores de compensação de criticalidade para um nível baixo, que sejam autônomos, contínuos e independentes dos HUMS. Assim o FAA não certifica nenhum sistema como catastrófico.

Mesmo concluído o processo inicial de certificação, o esforço precisa ser complementado continuamente por informações e evidências associadas à realidade operacional (dificuldades em serviço), que devem ser analisadas no julgamento da eficácia dos HUMS (para a garantia da qual se pode exigir a emissão de boletins de serviço de aplicação compulsória). Espera-se que os custos de certificação diminuam, à medida que mais modelos de projetos se beneficiem dos HUMS e mais experiência se adquira neste processo.

O HUMS da *Goodrich* foi certificado para atuar sob a Norma DO-178B (intitulada *Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification*), critério criado pela RTCA (*Radio Technical Commission for Aeronautics*) para certificação de *software* embarcados, e classificado como nível B (potencial para causar falhas de potencial perigo/severas, identificadas e relacionadas com a segurança no sistema). Este documento determina verificação, validação, documentação e gerenciamento de configuração de *software* e disciplina

a garantia da qualidade a ser usada em sistemas de microcomputador (ESTADOS UNIDOS, 1993). Por se tratar de um projeto de arquitetura-aberta, terceiras partes podem desenvolver seus sistemas para se integrarem ao HUMS e ainda transmitirem dados em tempo-real para estações de solo, que utilizam computadores pessoais comuns (AVIATIONTODAY, 2010a).

7 PERSPECTIVAS DO USO DO HMS

As autoridades aeronáuticas estarão atentas à definição dos requisitos mínimos de certificação a fim de garantir a aeronavegabilidade das futuras aeronaves equipadas.

As novas gerações de HUMS caminham para atuar com maior confiabilidade e integração de funções, alterando cada vez mais a forma como se implementa a manutenção, e o crescimento do uso desses sistemas depende do aumento da confiabilidade desses sensores. Por isso, o ponto crítico é que ainda rende muitas pesquisas correlatas concerne à precisão dos sensores, que deverão ser mais confiáveis, baratos, e resistentes a uma gama de temperaturas, a contaminantes ambientais e à vibração das aeronaves.

Os fornecedores estão expandindo as funções e capacidades dos HUMS pelo aperfeiçoamento dos algoritmos de forma a efetuarem maior utilização dos dados. Novos rumos incluem as mudanças de transição: da detecção de condições de falha e diagnóstico para a antecipação de indicação de potenciais problemas e o diagnóstico voltado para o prognóstico confiável e detalhado de necessidades da manutenção; e de *logbooks* automáticos de rastreamento de uso de cada componente para seu gerenciamento completo, atualizado eficazmente pelos dados coletados na aeronave.

Estruturas em compósitos como fibra de carbono reforçado têm sua adoção ampliada em recentes projetos como, citando em ordem crescente, o B777, B787, e A380 por serem mais leves que estruturas metálicas e consideradas igualmente

duráveis por sofrerem menos fadiga. Contudo também estão suscetíveis a desgaste, muitas vezes sob a forma de fissuras ou delaminações, que muitas vezes não são visíveis a olho nu. A EADS-Airbus mantém pesquisas conjuntas com o Japão para assistência no desenvolvimento de tecnologia de monitoramento da condição estrutural (SHM). A tecnologia estudada detecta deformações ou fissuras invisíveis através de fibras ópticas que são utilizadas como sensores embutidos, ou colados, na estrutura em compósitos da aeronave. Funcionários da Airbus equiparam a tecnologia SHM aos sinais de dor enviados ao cérebro pelo sistema nervoso humano, quando fraturas, fissuras ou delaminações ocorrem e destroem as fibras, interrompendo assim o sinal de luz. Esta interrupção, por sua vez, permite que a anomalia seja identificada e localizada. Os desafios concentram-se na adoção em larga escala a custos não-proibitivos, no acréscimo de peso e comprometimento da própria resistência do material compósito. Outras tecnologias de monitoramento estrutural estão sendo vislumbradas. Inclui-se a premissa de utilização de sensores acústicos anexados a superfície desse tipo de estrutura a fim de captar a energia liberada pela propagação de uma trinca (AVIATIONTODAY, 2010b).

Uma linha de pesquisa da Honeywell explora a integração em uma unidade compacta, dos sistemas de aquisição de dados do seu HUMS ao CVR/FDR.

O futuro próximo dos sistemas HUMS na arena militar também aponta para sua integração com sistemas de comunicação como o *airborne communications addressing and reporting system* (ACARS), o que consiste na transmissão automática dos dados durante o voo, e que elimina seus cartões de armazenamento a bordo para serem analisados em tempo-real pelas estações de monitoramento no solo. Desta forma, o operador mantém imediata condição de sua frota, permitindo avaliar a extensão segura do tempo entre as revisões (TBO) (AVIATIONTODAY, 2010a).

Há a expectativa de que a consolidação dos HUMS como um item amplamente utilizado até pelos menores proprietários, motivados pela operação mais econômica de suas aeronaves, contribua com a meta da indústria de

helicópteros de reduzir a taxa de acidentes em 80% em 10 anos (AVIATIONTODAY, 2010a).

8 CONCLUSÕES

Os HMS chegaram ao mercado de aviação como mais do que uma nova tecnologia: como parte de uma filosofia que emerge mudando culturas organizacionais. A manutenção preditiva, baseada na condição de vida dos componentes e subsistemas, alinhada aos contínuos avanços tecnológicos, vem atender a incessante busca por maior segurança de voo e disponibilidade das aeronaves, e redução de custos operacionais, todos aspectos essenciais à melhoria da eficiência dos negócios do setor aéreo, civil e militar.

Os HUMS, contando ainda com parâmetros de emprego, ganham maior aceitação conforme se ampliam seus limites de prognóstico e discutem-se alternativas às atuais dificuldades. Em seus diversos projetos, tendem a se tornar mais acessíveis também com novas opções de baixo-custo possíveis, definitivamente culminando como um item de série na indústria de helicópteros. E sob os desafios inéditos exigidos para a certificação criteriosa das autoridades pertinentes, mesmos os projetos de arquitetura-aberta podem contar com a garantia da qualidade requerida. Integrações HUMS/CVR/FDR, transmissões automáticas de dados até via Internet e tecnologias de monitoramento da condição estrutural (SHM) em compósitos são apenas algumas das perspectivas que prometem garantir a aeronavegabilidade das futuras aeronaves equipadas.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (Brasil). **RBHA 01**: definições, regras de redação e unidades de medida. Brasília, DF, 2008. Disponível em: < <http://www.anac.gov.br/biblioteca/rbha.asp>>. Acesso em: 21 abr. 2009.
- AVIATIONTODAY. **HUMS**. Disponível em: < http://www.aviationtoday.com/am/categories/military/HUMS_5250.html>. Acesso em: 21 abr. 2010b.
- AVIATIONTODAY. **HUMS: health and usage monitoring systems**. Disponível em: < <http://www.aviationtoday.com/am/categories/bga/76.html>>. Acesso em: 21 abr. 2010a.

CORTES, R. G. ; ALBUQUERQUE R. M. Health monitoring systems para segurança de voo. **Dédalo**: revista de segurança de voo da aviação do Exército, n. 12, p. 9-13, nov. 2009

DARR, S.. **NASA aviation safety & security program (AVSSP) concept of operation (CONOPS) for health monitoring and maintenance systems products**. Virginia: NAI, 2005 (Report No. 2006-04).

ESTADOS UNIDOS. Federal Aviation Administration. Advisory Circular nº 20-115C: RTCA/DO-178B. 1993. Disponível em: <[http://rgl.faa.gov/Regulatory_and_Guidance_Library/rgAdvisoryCircular.nsf/0/dcdb1d2031b19791862569ae007833e7/\\$FILE/AC20-115B.pdf](http://rgl.faa.gov/Regulatory_and_Guidance_Library/rgAdvisoryCircular.nsf/0/dcdb1d2031b19791862569ae007833e7/$FILE/AC20-115B.pdf)>. Acesso em: 21 nov 2009.

HELIHUB–The helicopter search engine. Dytran launches new accelerometer for HUMS and Rotor Track and Balance applications Disponível em: <<http://www.helihub.com/2010/05/13/dytran-launches-new-accelerometer-for-hums-and-rotor-track-and-balance-applications>>. Acesso em: 12 maio 2010.

LOUGEE, H.. Hums - certification considerations for current and emerging technology, Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=01053000>>. Acesso em: 25 abr. 2010.

PCB Piezotronics Inc. **In-flight monitoring instrumentation- accelerometers for health & usage monitoring systems (HUMS)**. Disponível em: < http://www.pcb.com/Linked_Documents/Vibration/HUMS_0408_LoRes.pdf>. Acesso em: 10 maio 2010.

PIPE, K. Measuring the performance of a HUM system – the features that count. In: DSTO third international conference on health and usage monitoring, 2003, Melbourne. **Proceedings**...Victoria: DSTO, 2002. p.5-15.

SCHAEFER, C.; HAAS D.. A simulation model to investigate the impact of health and usage monitoring systems (HUMS) on helicopter operation and maintenance. In: American Helicopter Society 58th Annual Forum, 2002, Montreal. **Proceedings**... Montreal: AHS, 2002.

VIANA, Cassiano. Operações offshore demandam uma complexa logística aérea em alto mar. **Revista TN Petróleo**, n.67, p.84-90, jul./ago. 2009.

A QUALITATIVE ANALYSIS OF THE HEALTH AND USAGE MONITORING SYSTEMS (HUMS) PHILOSOPHY IN PREDICTIVE MAINTENANCE FOCUSED ON THE LEVEL OF VIBRATION ON ACCOUNT OF HELICOPTER OPERATING CONDITIONS.

ABSTRACT: The HUMS (Health and Usage Monitoring Systems) originated in the offshore activity, and is one of the types of health monitoring systems (HMS) which also consider helicopters utilization parameters. Aligned with the philosophy of predictive maintenance, their actions aim to ensure the continued airworthiness and reduce operating costs through an early diagnosis and prognosis of failures, mainly by means of vibration sensors, whose data are processed by algorithms dedicated to functions increasingly expanded and integrated into other subsystems. This article presents, as a practical panel, a brief qualitative summary of these systems, segmented into: history and evolution of the market, architecture, benefits, disadvantages, limitations, challenges of certification, and application perspectives.

KEYWORDS: Helicopters. HUMS. Vibration.